

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.903 June 1998

ケーソン製作の省力化施工技術

| | | | |
|---|---|---|---|
| 鈴 | 木 | 雄 | 三 |
| 清 | 宮 | | 理 |
| 藤 | 沢 | 孝 | 夫 |
| 横 | 田 | | 弘 |
| 秋 | 園 | 純 | 一 |
| 吉 | 江 | 宗 | 生 |
| 佐 | 藤 | 栄 | 治 |
| 田 | 中 | 敏 | 成 |

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨

| | |
|-----------------------|----|
| 1. ま え が き | 4 |
| 2. 労働力実態調査 | 4 |
| 2.1 労働力実態調査 | 4 |
| 2.2 他機関での労働力調査結果 | 7 |
| 2.3 結論 | 9 |
| 3. 土木・建築分野の省力化技術 | 10 |
| 3.1 土木分野（建設省関連）での省力化技 | 10 |
| 3.2 建設分野での省力化技術 | 13 |
| 3.3 施工機械・ロボット技術部門 | 20 |
| 4. 港湾工事における省力化技術 | 23 |
| 4.1 省力化の定義 | 23 |
| 4.2 省力化技術の現状 | 23 |
| 5. 港湾用ケーソンの省力化施工技術 | 27 |
| 5.1 概要 | 27 |
| 5.2 プレキャストケーソン | 27 |
| 5.3 パネルシステムケーソン | 34 |
| 5.4 鉄筋ユニット工法によるケーソン製作 | 43 |
| 5.5 自動昇降型枠技術の開発 | 50 |
| 6. 省力化技術と材料 | 56 |
| 6.1 高流動コンクリート | 56 |
| 6.2 省力化部材の力学特性 | 65 |
| 7. 省力化を踏まえた設計施工法の確立 | 73 |
| 7.1 はじめに | 73 |
| 7.2 設計法での取り組み | 73 |
| 7.3 施工法での取り組み | 74 |
| 7.4 まとめ | 74 |
| 8. 省力化技術と機械化 | 75 |
| 9. あとがき | 76 |
| 10. 謝 辞 | 77 |
| 参 考 文 献 | 77 |

Development of Labor-saving Technology for Caisson Construction

Yuzo SUZUKI *
Osamu KIYOMIYA **
Takao FUJUSAWA ***
Hiroshi YOKOTA ****
Jun'ichi AKIZONO *****
Muneo YOSHIE *****
Eiji SATO *****
Toshinari TANAKA *****

Synopsis

Port construction works mainly depends on man power. Technical discipline is needed for special kind of works and dangerous works still remain.

In construction society, number of workers changes with economical situation. The shortage of workers may occur within a few years.

In these situation, to achieve high productivity and safety of construction work, standardization of structure, pre-fabrication and machine-construction method to reduce danger, construction technology free from workers skill are important.

In the area of labor-saving technology of port construction works, that for caisson construction is rapidly progressed.

Pre-cast caisson(1st District Port Construction Bureau), panel system caisson(2nd District Port Construction Bureau), unit of fabricated steel bars(2nd District Port Construction Bureau) are introduced through practical use test.

Other method so as to vertical sliding form, structural form, and low viscosity concrete are under developing.

However, most of labor-saving technology are under developing, practical use testing or partial use. To use labor-saving technology widely, machine construction method and automated construction method must be developed more.

Keywords: labor-saving, pre-cast caisson, panel system caisson, unit of fabricated steel bars, vertical sliding form, low viscosity concrete

* Director of Machinery Division

(3-1-1,Nagase, Yokosuka 239-0826 Japan Tel.+81-468-44-5042 Fax.+81-468-44-0575 E-mail.suzuki-y@cc.phri.go.jp)

** Former Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structure Division (Professor of Waseda University)

*** Former Member of Structural Mechanics Laboratory, Structure Division

(Kajima Port Construction office, 2nd District Port Construction Bureau)

**** Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structure Division

***** Chief of Robotics Laboratory, Machinery Division

***** Senior Research Engineer, Machinery Division

***** Member of Robotics Laboratory, Machinery Division

ケーソン製作の省力化施工技術

鈴木雄三
清宮理
藤沢孝夫
横田弘
秋園純一
吉江宗生
佐藤栄治
田中敏成

要 旨

現在の港湾工事は人力作業に大きく依存しており、その作業内容によっては、熟練度が要求されたり危険を伴う。また、建設業は景気の状態によって就業者が増減しやすい職種である。かつて日本の景気が好調であった時代は、「3K」と呼ばれて敬遠され、就業者不足が問題となっていた。現在は就業者不足はそれほど深刻ではなくなってきたが、これから数年の間に、就業者不足が再び問題となることも十分に考えられる。

このような状況の中で建設業の生産性と安全性の向上を図っていくためには、建造物の規格化、プレハブ化や機械化を進め危険作業を減らし、労働者の熟練度に依存しない施工技術を開発することが重要である。

港湾建設分野で現在開発中の省力化施工技術では、ケーソン製作技術の省力化が急速に進んでいる。この中では、プレキャストケーソン（第一港湾建設局）、パネルシステムケーソン（第二港湾建設局）、及び鉄筋ユニット工法（第二港湾建設局）が実証試験を経て現地で採用されている。パネルシステムケーソンは、ユニット化した合成版を鉄骨組みに取り付けてケーソンを製作するものであり、構造部材全てをユニット化している。プレキャストケーソンは隔壁を鉄筋コンクリート版でユニット化している。これらの工法では、実際に建設に携わった作業員数を調査し省力化の効果を確認している。鉄筋ユニット工法も防波堤ケーソンに使用されている。第二港湾建設局管内の使用に限定されているが、ここでは地上で鉄筋ユニットを組み立てケーソン上にクレーンで運搬して取り付ける。ユニット鉄筋の組立は結束線（番線）で行われているが溶接による方法も検討されている。関連して、自動昇降型枠、構造型枠などの採用も検討中である。コンクリート打設の労働力を大幅に削減できる高流動コンクリートについての施工法の開発等もかなり進展している。

しかし、省力化施工技術の大半は開発途中、実証試験、試験的な採用の段階である。省力化施工技術を普及させるには、今後より一層の施工の機械化・自動化を進めていく必要がある。

キーワード：省力化、プレキャストケーソン、パネルシステムケーソン、鉄筋ユニット、自動昇降型枠、高流動コンクリート

-
- * 機械技術部長
(〒239 横須賀市長瀬3-1-1 TEL 0468-44-5042 FAX 0468-44-0575 E-mail suzuki-y @cc.phri.go.jp)
 - ** 前構造部 構造強度研究室長（現早稲田大学）
 - *** 前構造部 構造強度研究室研究官（現第二港湾建設局 鹿島港湾工事事務所）
 - **** 構造部 構造強度研究室長
 - ***** 機械技術部 ロボティクス研究室長
 - ***** 機械技術部 主任研究官
 - ***** 機械技術部 ロボティクス研究室研究員

1. まえがき

現在の港湾工事は人力作業に大きく依存しており、その作業内容によっては、熟練度が要求されたり、危険を伴う。ケーソン製作の例では、鉄筋工等の熟練を要する特殊技能を持った作業員が多数必要である。また、足場上での高所作業もあり、危険度が非常に高い。

また、建設業は、景気の変動によって、就業者が増減しやすい職種であると言える。かつて日本が景気好調であった時期は、「3K（きつい、汚い、危険）」と呼ばれて敬遠され、就業者不足が問題となっていた。現在は就業者不足はそれほど深刻ではなくなってきたが、これから数年の間に、就業者不足の問題が再び持ち上がってくることは十分に考えられる。

したがって、省力化という観点からみた場合、今後の港湾工事においては、就業者不足が深刻化しつつある状況に素早く対応できるようにすること、例えば、熟練工が少なくても施工可能な技術を開発すること、加えて、作業員を危険から解放することが重要である。

省力化施工技術の開発とは、このような経緯で始まったものであり、港湾工事に関連する、人力作業の低減、苦渋作業の低減、熟練作業の低減を図るように各種工法、材料、設計法などを改善することである。

本資料は、国直轄の港湾工事において試みられているケーソン製作の省力化技術について、特に実用化に近い段階まで進んでおり、技術の現状をとりまとめたものである。

2. 労働力実態調査

2.1 労働力実態調査

港湾工事における労働者の高齢化や若年層を中心とした労働力不足の実態について把握することを目的に、港湾建設会社（大手11社）の各支店が平成4年度に行った港湾工事5件程度について、各職種の労働者の人数、その年齢構成等を調査した。

回答工事数319件、のべ約19,000人の労働者に関して、各職種における年齢構成及び高齢化について分析を行った結果は次の通りである。

a) 各職種における年齢構成

各職種における各年齢層の構成人数とその割合を図-2.1.1~2にまとめた。

全体的に見ると、30歳以下10%、31~40歳が20%、41~50歳が34%、51~60歳が30%、

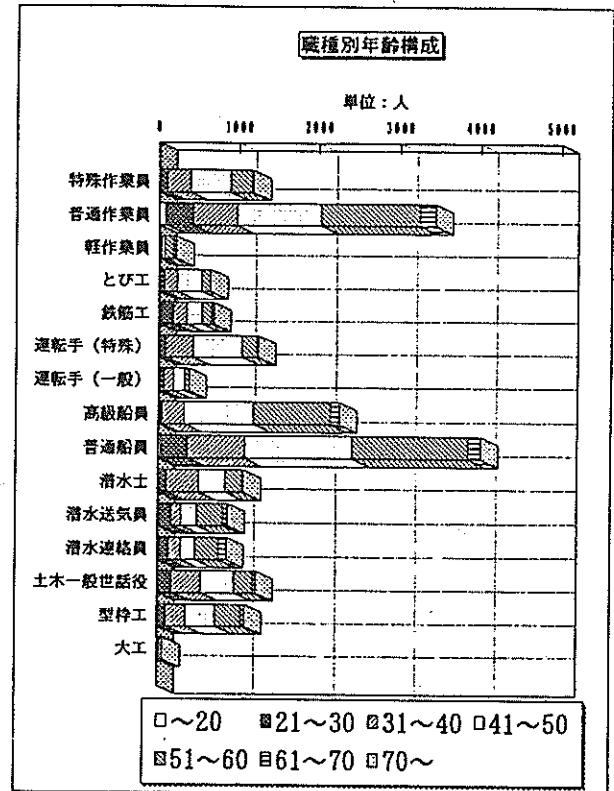


図-2.1.1 職業別年齢構成 (人)

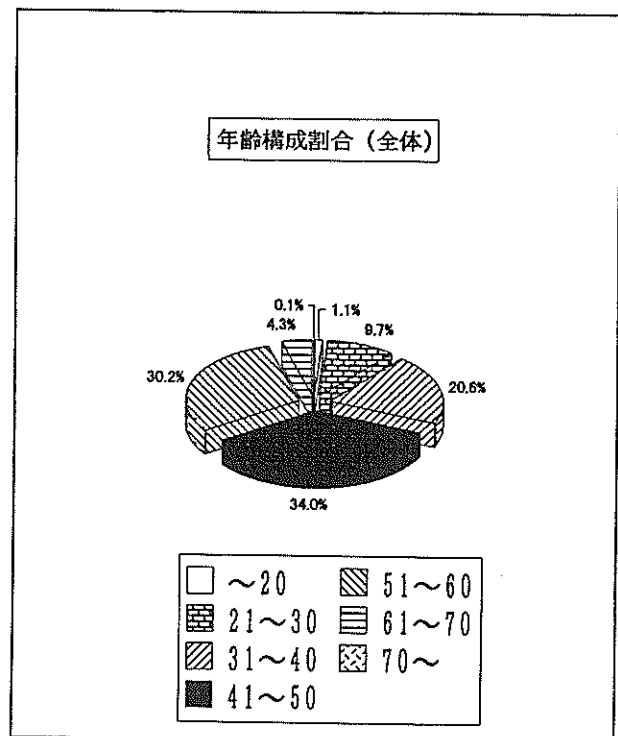


図-2.1.2 職業別年齢構成 (全体)

61歳以上が4%となっている。職種ごとの労働者数に違いはあるものの、41歳以上の年齢層を中心とした年齢構成となっている。一部の職種では、51歳以上の労働者数が40%以上を占めており、労働者の高齢化が深刻化していることがわかる。

b) 高齢化の進む職種

各職種に41歳～50歳及び51歳以上の労働者が占める割合を図-2.1.3に示した。

全ての職種の50%以上が41歳以上の年齢層で占められている。港湾工事がこの年齢層によって支えられていることがわかる。

高齢化が顕著に現れている職種（51歳以上が約40%以上）として、

- ・ 軽作業員
- ・ 普通作業員
- ・ 船員
- ・ 潜水送気員・連絡員
- ・ 型枠工

が挙げられる。

その他の職種についても、41～50歳の占める割合や若年層の労働者数を考えると、将来的に高齢化・人手不足が深刻化すると思われる。

調査結果全体を各港湾建設局・北海道開発局・沖縄総合事務局の管内別に分け、各地域において51歳以上の高齢労働者の比率を図-2.1.4～10にまとめた。なお図中右端の数字は各職種の人数の合計である。

各地域ともグラフの傾向が似ており、各職種における高齢化の傾向は全国的に見てほぼ同じであると思われる。

軽作業員、船員、普通作業員、潜水送気員、潜水連絡員などの職種は、各地域とも共通に高齢者の占める割合が高いことがわかる。

第一港湾建設局管内、第二港湾建設局管内、第五港湾建設局管内については、他地域に比べ全体的に高齢者の割合が高いと思われる。

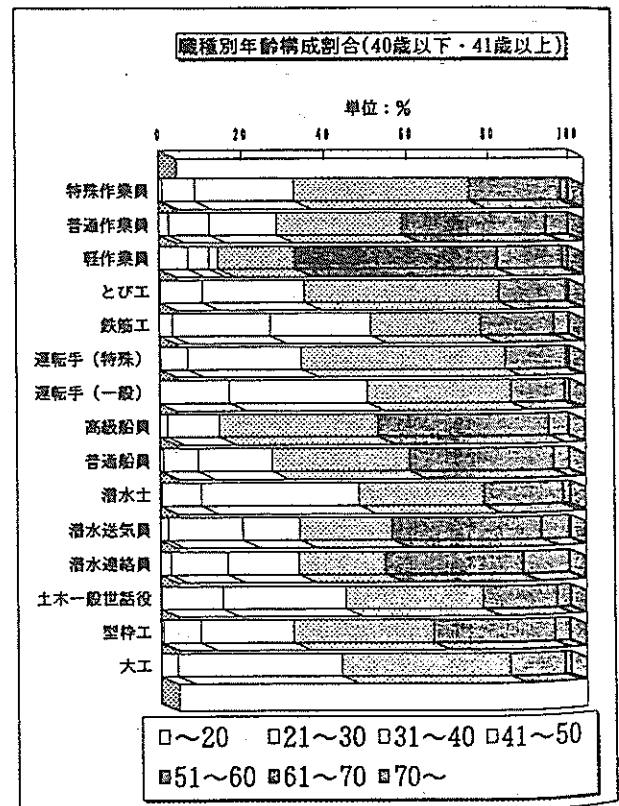


図-2.1.3 職病別年齢構成(41～50歳・51歳以上)

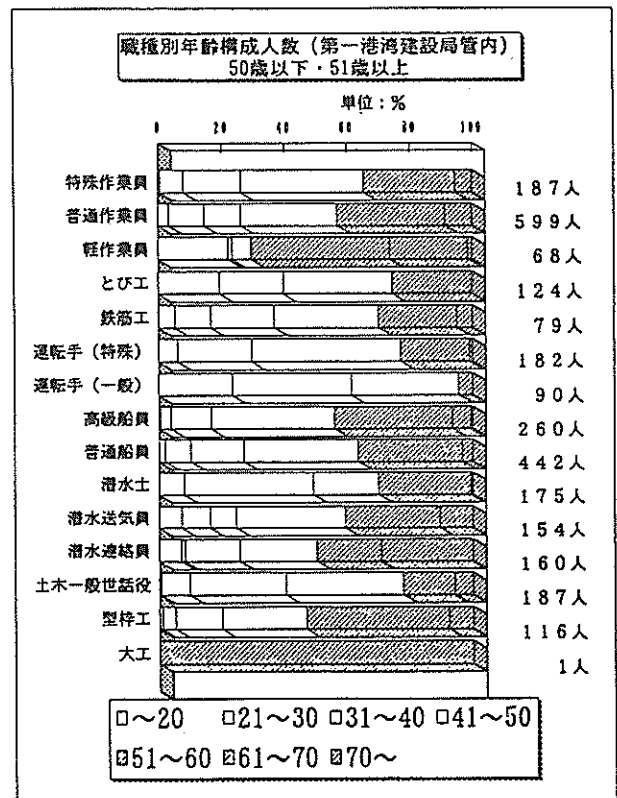


図-2.1.4 高齢者の割合(第一港湾建設局)

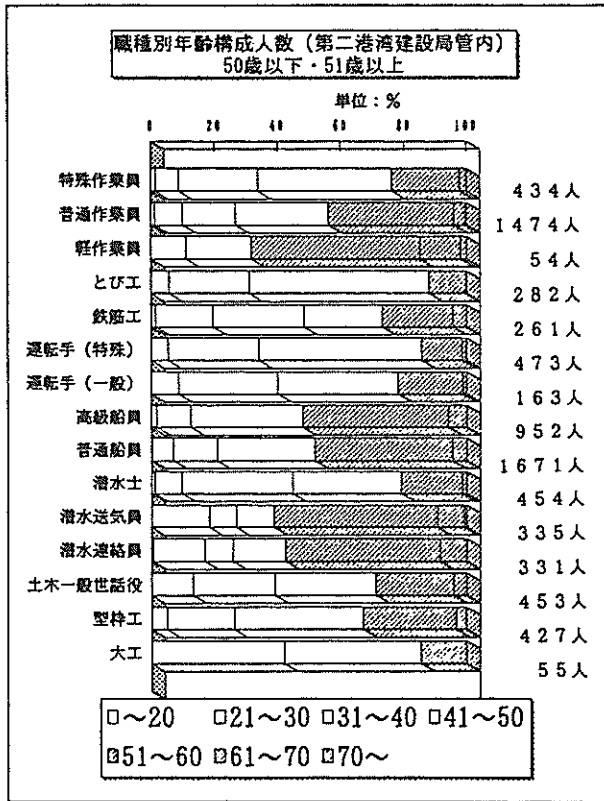


図-2.1.5 高齢者の割合 (第二港湾建設局)

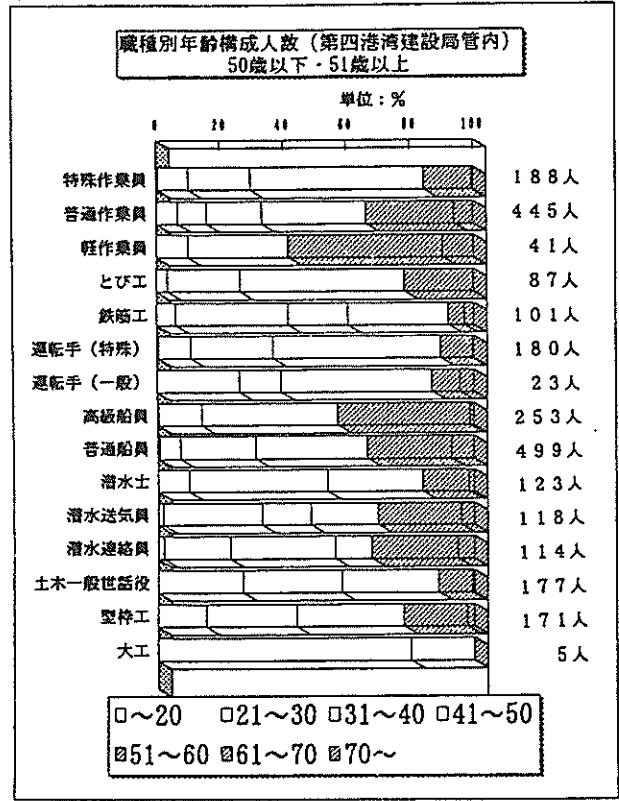


図-2.1.7 高齢者の割合 (第四港湾建設局)

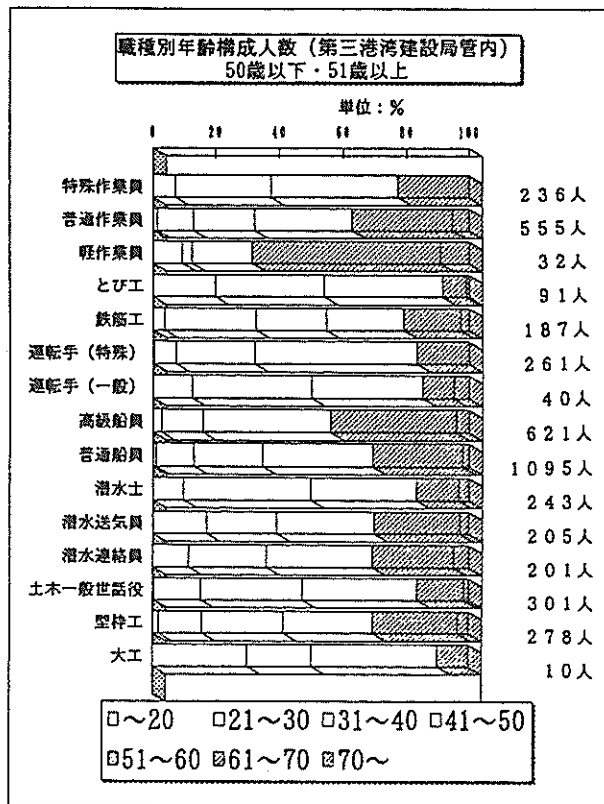


図-2.1.6 高齢者の割合 (第三港湾建設局)

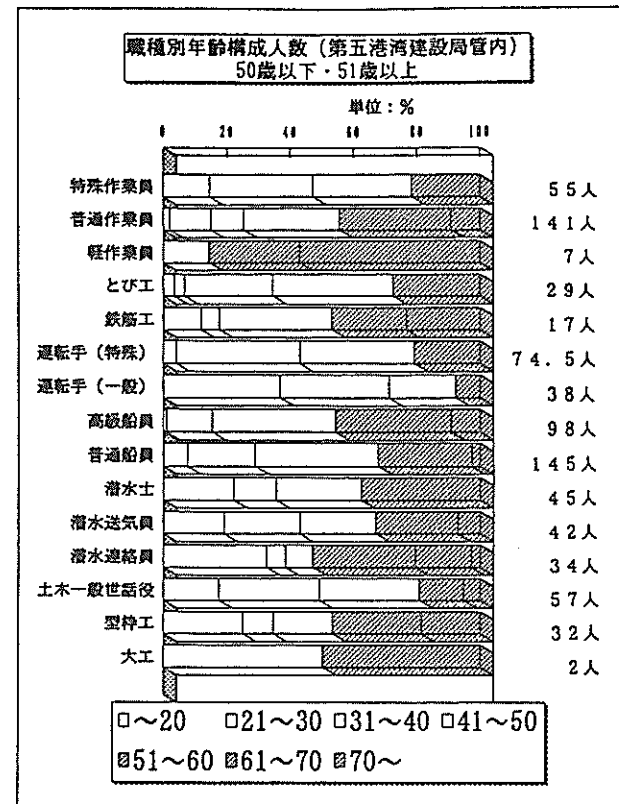


図-2.1.8 高齢者の割合 (第五港湾建設局)

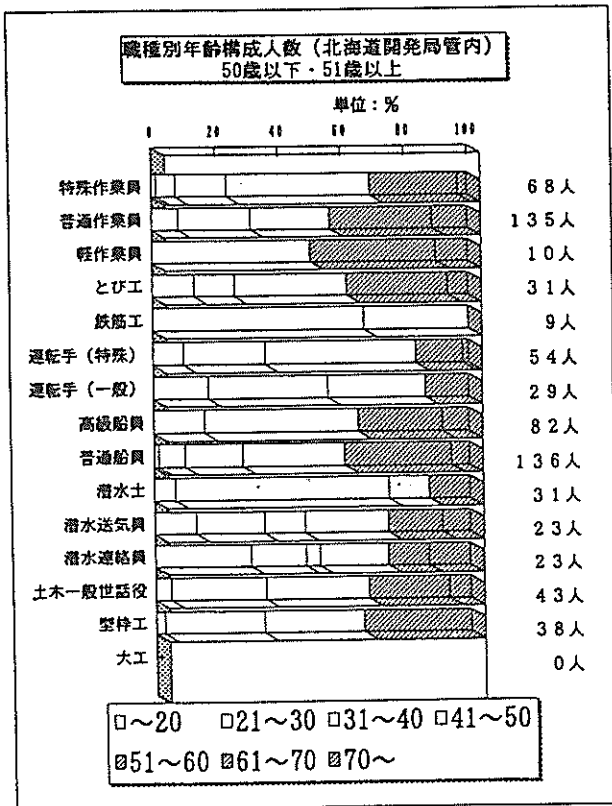


図-2.1.9 高齢者の割合（北海道開発局）

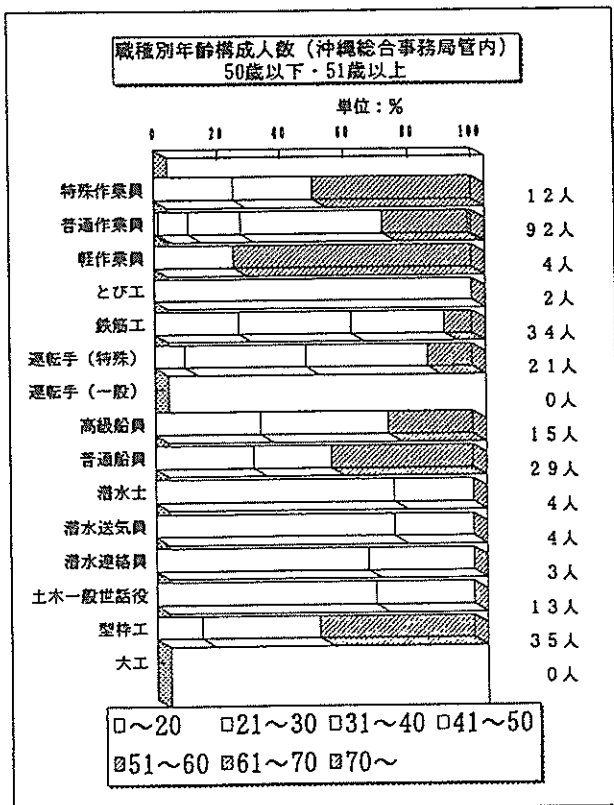


図-2.1.10 高齢者の割合（沖縄総合事務局）

2.2 他機関での労働力調査結果

2.2.1 「建設白書」及び「労働白書」

「建設白書」平成4～7年度版及び「労働白書」平成5～7年度版より、建設労働に関する調査結果についてまとめた。

(1) 建設技能労働者の需要

建設省の「建設労働需給調査」によると、建設技能労働者6職種（型枠工<土木・建築>、左官、とび工、鉄筋工<土木・建築>）の不足率の推移は図-2.2.1のようになる。

調査開始以来最高の不足率を示した平成2年度の4.2%から年々と下降し、平成6年度の調査では全国平均0.8%（前年度比0.5%増加）であり、技能労働者確保については安定した状態が続いている、としている。

(2) 労働条件

建設労働者の賃金、労働時間、労働災害の発生状況、労働保険加入等の労働条件については、未だ他産業と比べて立ち遅れた状況にあり、着実な改善を進めていく必要がある、としている。

建設業の事業所の法定労働時間は、平成6年4月1日から10人～300人までの規模で、平成7年4月1日から9人以下の規模で、それぞれ週46時間から週44時間に短縮されたところである。しかしながら、労働省の「毎月勤労統計調査」によると、建設業の総労働時間は年々減少しているものの、依然として全産業の平均労働時間に比べ150時間長く、短縮の動きが鈍る傾向にある。

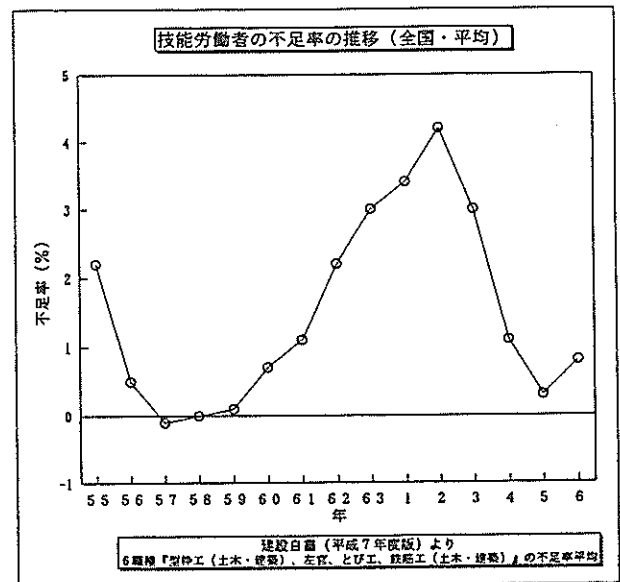


図-2.2.1 技能労働者の不足率の推移（全国・平均）

2.2.2 「港湾工事における機械化・自動化調査研究」報告書

第四港湾建設局が（社）日本作業船協会に委託し平成4年3月にまとめた「港湾工事における機械化・自動化調査研究」報告書の中で、港湾工事の作業実態調査の結果が示されている。建設業の平均労働時間の推移を表-2.2.1に示す。

ここでは、「3K」及び技術開発が必要な工種を取り上げ、これらの工種の年齢構成等に関する調査結果について抜粋すると以下の通りである。

(1)緊急に開発が必要な工種

アンケート結果をもとに、各企業が「3K」と認める工種及び将来的に積極的な技術開発が必要と認められる工種を表-2.2.2に示す。

(2)各工種の労働者数と年齢構成

(1)で挙げた「3K」工種に従事する労働者の年齢構成をみると、ほとんどの工種で50%以上が40歳以上の年齢層で占められている。就業者数と年齢構成を図-2.2.2に示す。

(3)開発の要望が多い工種

- ①型枠組立・組外し
- ②コンクリート打設
- ③グラブ浚渫

表-2.2.1 建設業の平均労働時間の推移

(単位：時間)

| | 平成4年度 | 平成5年度 | 平成6年度 |
|---------|-------|-------|-------|
| 全産業(a) | 1,972 | 1,913 | 1,910 |
| 建設業(b) | 2,116 | 2,083 | 2,060 |
| (b)-(a) | 144 | 170 | 150 |

表-2.2.2 「3K」及び技術開発が必要な工種

| No | 工 種 | 分 類 | 備 考 |
|----|------------|-------------|---|
| 1 | 浚渫工 | グラブ浚渫 | 各工種の内訳 ①場所打コンクリート工 ②ケーソン製作・据付工 ③塊製作・運搬据付工 ④中詰工 ⑤7°ハット・袋詰コンクリート工 ⑥異型消波・根固工 ⑦上部工 ⑧舗装工 ⑨水中コンクリート工 ⑩その他関連工種 |
| 2 | 基礎工 | 捨石・被覆石・投入均し | |
| 3 | 各工種（備考欄参照） | 型枠組立・組外し | |
| 4 | 各工種（備考欄参照） | 足場組立・撤去 | |
| 5 | 各工種（備考欄参照） | 鉄筋加工・組立 | |
| 6 | 各工種（備考欄参照） | コンクリート打設 | |
| 7 | ケーソン製作・据付工 | ケーソン据付 | |
| 8 | 裏込・裏埋工 | 防砂板取付け | |
| 9 | 水中溶接・切断工 | 水中被覆アーク溶接 | |
| 10 | 鋼矢板・鋼杭工 | 鋼矢板・鋼杭打込み | |
| 11 | 親水域清掃技術 | 護岸棧橋下ごみ回収 | |

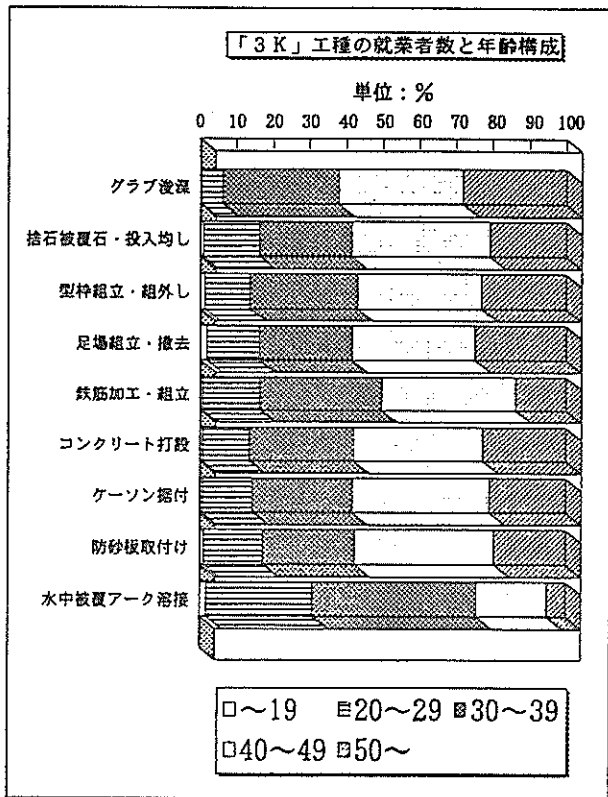


図-2.2.2 就業者数と年齢構成 (%)

2.2.3 「省力化施工防波堤調査」報告書

第一港湾建設局が平成3年3月にまとめた「省力化施工防波堤」報告書の中で、防波堤工事及びケーソン製作に関する労働力の実態調査結果が示されている。それを抜粋すると以下の通りである。

(1) 労働者の年齢構成

防波堤工事、ケーソン製作に従事する労働者の年齢構成は図-2.2.3のようになる。各工事とも50歳以上が約40%、40歳以上が70%を占め、高齢化が深刻である様子がわかる。

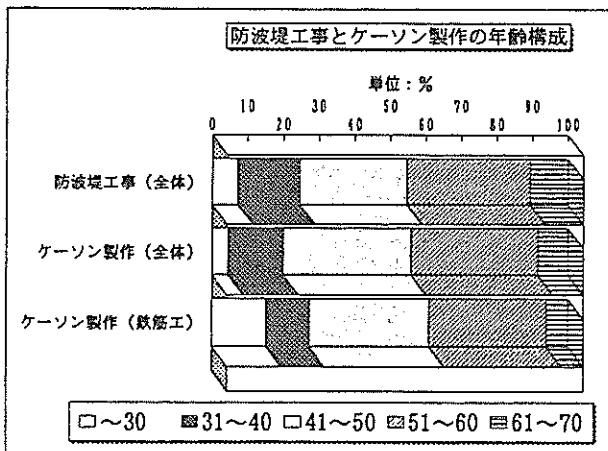


図-2.2.3 各工事の労働者の年齢構成

高齢者が多い職種として次の職種を挙げている。

a) 防波堤工事

船員、普通作業員、軽作業員、潜水士、潜水送気員・連絡員、型枠工、世話役

b) ケーソン製作

鉄筋工、普通作業員、軽作業員、型枠工、特殊作業員、運転手 (特殊)

(2) 労働力の問題点

防波堤工事及びケーソン製作工事に従事する労働力の問題点は次の通りである。

- ・労働力の不足については機械力の増強と作業時間の延長で対応しているが、現場によっては限界があり、結局は作業時間の延長、休日勤務を行っているのが現状である。
- ・潜水要員の絶対数が不足しているため、他工事との掛け持ちや他地域からの応援で対応している。
- ・船員の高齢化が顕著であり、今後の船員不足は必至である。
- ・特殊技能が必要な工事での要員確保が困難である。
- ・長期にわたり働く意欲が少ないため、施工精度に対する意識が低い。
- ・熟練工の不足のため作業効率が悪く、工程計画に余裕がない。
- ・若年層の参入が少なく、高齢化に向かっている。

2.3 結論

各機関での労働力の調査結果を総合すると、港湾工事に従事する労働者は41歳以上の年齢層を中心に構成されていることがわかる。よって、多くの職種で既に高齢化が顕著に現れているか、または将来的に高齢化・人手不足が深刻化してくることが予想される。また、各地域における労働力の傾向は概ね同じであるが、職種によっては年齢層、労働力確保の点でばらつきが見られる。

特に高齢化が顕著にあらわれている職種として次のものが挙げられる。

- ・軽作業員
- ・普通作業員
- ・船員
- ・潜水士
- ・潜水送気員
- ・潜水連絡員
- ・型枠工

船員、特に高級船員の高齢化の原因として、これらの船員は二種普通船員で仕事を始めて経験を積み、資格を取って一種高級船員となることが多く、さらには元来、港湾工事に関わる作業船に一種高級船員はあまり必要とされていないことが相乗的に働いていると考えられる。

労働時間については、要員の確保が困難であるため工程計画に余裕がなく、作業時間の延長を余儀なくされている状況が見受けられる。労働白書でも建設業の労働時間短縮の動きの鈍化を指摘している。

今後は労働者の高齢化等を考慮して、多少コストアップを伴っても省力化施工を重視した現実的で実行しやすい設計施工法を確立して行く必要があるが、その一方、建設コスト削減が求められている現状では、コスト削減につながる省力化技術の導入から手掛けることが望ましい。

また、省力化技術の開発は、特定の工種の改善では工事全体の省力化としての効果が少ないため、工程全般にわたって行う必要があるが、それには大規模な省力化技術の導入が必要であり、コスト面でも導入が困難な事が考えられるため、当面は人手不足及び高齢化が予測される職種から行う必要があると考えられる。

3. 土木・建築分野の省力化技術

3.1 土木分野（建設省関連）での省力化技術

3.1.1 企業の技術開発動向

建設省でも省力化の取り組みが進められている。ここでは施工の機械化、製品の統一化などが対象となっている。（財）先端建設技術センターで平成5年2月末に行った民間企業の技術開発動向の調査結果がある。調査対象企業は建設業、製造業、コンサルタント業など11分野の141社である。開発目標別にみると、省人化、および安全性の向上がそれぞれ約3割を占め、これらに次いでよりよい環境の創造が約2割と多い。開発目標として省人化を目指した技術は、シールドトンネル、山岳トンネル、土工、コンクリート工などの工種が多い。回答のあった全技術の中から省力化を目指した技術を、技術の規模と新規性を考慮して抽出してみると次のようである。

- 山岳トンネル
ずり処理工
機械化掘削工
- シールドトンネル
セグメント搬送・組立
特殊シールド工法

地中接合工

- ダム
コンクリート運搬工
- 土工
GPSを活用した施工管理
自動化ケーソン工
- コンクリート工
特殊コンクリート工（高流動コンクリート）

これらの技術は、概ね人力に替えてすでに機械化されている技術をさらに高度化し、必要な人手を省こうと意図されたものとみることが出来る。特にトンネル工事での自動化機械化が進んでいる。東京湾横断道路でのシールドトンネルの施工は現在の省力化技術の最先端をいつている。トンネル内の工事の状況を写真-3.1.1に示す。

シールドセグメントの搬送と組立はロボットにより行われており現場での技術者、作業員の数は少数である。

機械化された技術の高度化に当たっては、例えばGPSに代表される新しい測定技術や、計測結果を短時間で処理する情報処理技術が重要な役割を果たしている。この様な傾向の中で、高流動コンクリートに関する技術は、従来の工事工程の中で必要であったコンクリートの締固めの工程を不要とするものであるもので、機械化によって人手を省こうとする考え方とは異なっている。

3.1.2 プレハブ化

土木・建築分野の構造物は自動車や家電製品と異なっており、構造物に必要な機能・諸元や施工現場の条件に合わせて現場で築造するものであるため、工場生産される製品を用いることは長い間少なかった。しかし、近年工場生産した部材を現場で組み立てるプレハブ化の手法が多用されるようになってきている。

住宅建設やビルの建設ではプレハブ部材が多用されていることは周知の処である。土木分野でもコンクリート二次製品（管路、樋管、共同溝など）が用いられる局面は多く、プレハブ化により現場での省力化が図られている。

プレハブ化による効果は部材を工場製作するため、①所要の品質が安定的に保証される、②現場での工期短縮が図れる、③製作時期を平準化できるなどで、省力化の効果も大きい。プレハブ化のためには、部材の寸法や強度の規格化、標準化が必要であり、建設省制定の標準設計やJIS規格は大きな貢献を果たしてきたといえる。JIS規格に基づくコンクリート二次製品の定尺は人力施工を想定して定められてきたものであるが、近年の建設労働者の高齢化の進展につれて人力施工は難しくなり多くは

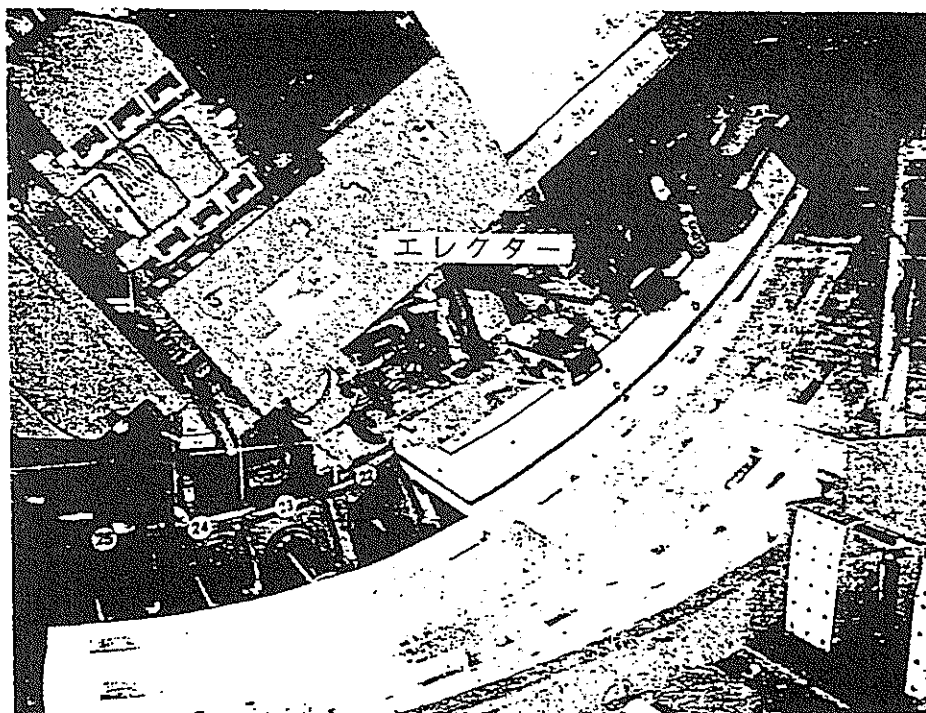


写真-3.1.1 (a) シールドトンネル工事での省力化 (東京湾横断道路)

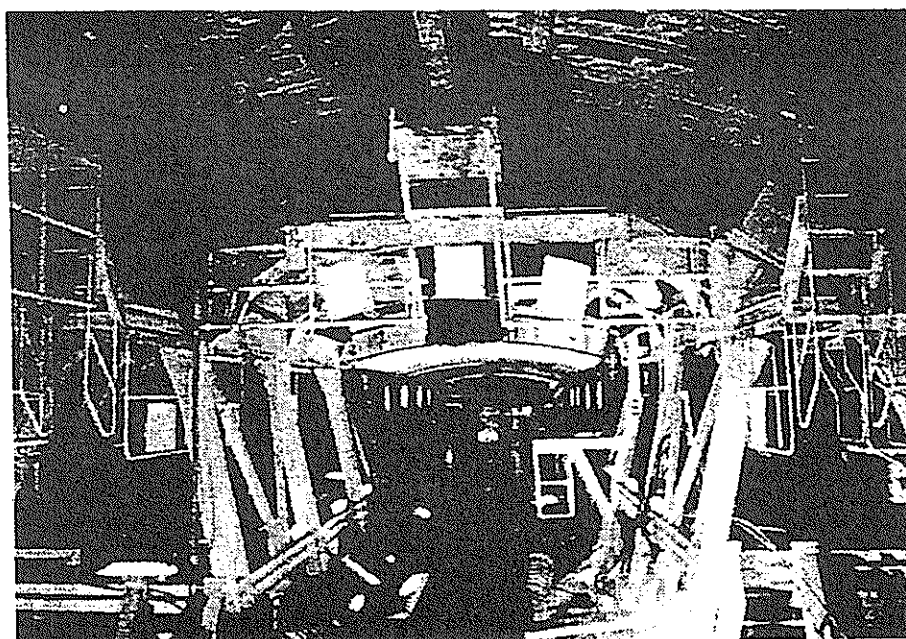


写真-3.1.1 (b) セグメント搬入状況



写真-3.1.1 (c) 上半鉄筋組立状況

機械による運搬・据え付けが行われるようになってきている。

コンクリート二次製品の運搬・据え付けに機械を用いるのであれば、JIS規格にこだわることなく施工の可能な範囲で長尺化することによってさらに省力化を図ることができ、工期短縮を図ることが出来る。このためには、長尺化したコンクリート二次製品の規格を定めるばかりでなく、コンクリート二次製品製作設備の長尺化対応、製品の運搬・据え付け機械、据え付け技術など一連のものが必要である。

3.1.3 施工新技術の開発研究

建設技術開発会議・施工合理化技術開発専門部会では、平成2年3月に「施工合理化技術開発のビジョン」を策定し、現在の施工形態に基づいた建設施工の未来像を具体的な工種、工法毎に示すとともに、21世紀初頭の施工現場を念頭に必要な開発課題をまとめている。

表-3.1.1に示すこの提言を受けて建設省では建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」（平成2～6年度）を創設し、施工の無人化、省力化技術の開発に取り組んでいる。このプロジェクト

表-3.1.1 「施工合理化技術開発のビジョン」で提示された対象分野

| | 分野の区分 | 内 容 |
|-----------|----------|---|
| 構造物対応での区分 | 山岳トンネル | 発破工法, 自由断面TBM, 全断面TBM |
| | シールドトンネル | 泥水式シールド工法, 土圧式シールド工法 直打ちコンクリートライニング工法 |
| | ダム | コンクリートダム (RCD工法, 柱状工法), フルダム |
| | 舗装 | アスファルト舗装新設, アスファルト舗装維持・修繕工 プレハブ舗装工法 |
| 工種等対応での区分 | 建築 | 地下工事, 躯体工事, 仕上げ工事, 設備工事 |
| | 土工 | 一般切土工・盛土工, 法面工, 表層混合処理工 |
| | 基礎工 | ケーソン (ニューマティックケーソン, オープンケーソン) 工法 連続地中壁工, アースドリル工法, 場所打ち杭リバース工法 |
| | コンクリート工 | 下水処理場, 共同溝, 大型地下タンク, ポンプ打設, 品質管理 |
| | 水中作業 | 浚渫工事, 棧橋工事, ケーソン基礎工事 |
| | 据え付け工 | ブロック工, 管渠布設工 |

においては、鉄筋コンクリート工、山岳トンネル工、基礎工、土工、舗装工、ダム工など多くの分野の構造物を対象に施工の自動化・合理化の技術開発ならびに新技術の技術基準や施工指針の整備を目標としている。このために建設省土木研究所と（財）先端建設技術センターならびに民間企業との共同研究が進められている。

3.1.4 省力化の戦略

生産性の向上、熟練労働者の減少への対応、安全な施工をめざし、省人化、省力化を進めるための建設省の方法は大別すると次のように分けられる。

- ①従来の人手を機械に置き換える機械化、ロボット化
- ②施工現在の工程の一部を工場製作の製品を用いることによって省略するプレハブ化
- ③新しい素材や部材を用いることにより工程の一部を省略する工夫
- ④従来の設計体系を脱却し、構造形式を人手のかからないものに変更する工夫

これまでに行われてきた省力化の努力の方向は主に①または②の戦略に沿うものといえる。構造形態や規模などの諸元決定を左右する評価尺度として量の充足を図るため経済性を優先する時代にあっては当然の流れであったといえる。しかし時代は移り量の充足から質の向上を求める方向への国民の要求の変化と、冒頭に掲げた産業構造の変化とを考えると、省力化の努力の方向は従来の流れを加速するだけでは足りなくなっている。このことを背景にしてインフラ施設の整備に当たり、計画、設計、施工、維持、運用のトータルな過程を視野に入れ

- ③や④のような戦略が今必要になってきている。
- ③の例の1つは前述した高流動化コンクリートである。
- ④の例として軽量盛土材による軟弱地盤上の盛土、仮締切の要らない護岸築造方法、山岳道路における連続高架橋のための仮設道路の不要な架橋技術、舗装ロボットの走行性を考慮した橋桁の構造などを挙げることが出来る。
- ①および②の戦略に沿う従来の省力化の方向にとらわれることなく、柔軟な発想が求められている。

直轄工事における人手を多く要する工種を調べた結果によれば河川・道路の構造物建設工事、道路改良工事、河川工事、道路維持工事、鋼橋架設工事が上位5種を占める。省力化の効果の大きい工種は側溝や縁石の設置、河川堤防の除草などに代表される工種でありこの種の工事での省力化を推進することの必要性が大きいことが判る。

3.2 建築分野での省力化技術

3.2.1 はじめに

建築部門では、労働者不足は慢性化し若年労働者も少ない。このような状況に対応するため、建築の生産性向上を目的とした各種の工法開発が盛んに行われるようになった。

建築工事を構造種別ごとに分類すると、木造、鉄筋コンクリート(RC)造、鉄骨(S)造、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造、コンクリートブロック(CB)造などがあるが、これらの中で最も工業化の進んだ構造形式がS造であろう。

図-3.2.1に同一用途の建物を施工するのに要した建設労働者の労働延べ時間と規模(床面積)の関係を示す。

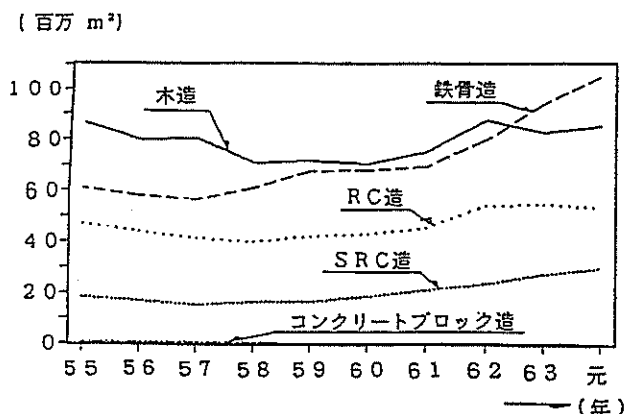


図-3.2.1 構造別建築着工床面積の推移

SRC造は最も多くの労働時間を必要とし、S造は最も少ない労働時間で施工できることがわかる。S造による工事は現在飛躍的に伸びている。S造による床面積が飛躍的に伸びた理由として、東京都新庁舎を初めとする超高層建物の建設ラッシュもさることながら、労働者不足から構造形式を工業化の進んだS造に変更した工事も多い。

一方、RC造は造形の多様化に容易に対応できること、耐久性、耐火性に優れていること、さらに、構造材料の中でも最も廉価であることなどから、RC造による工事も多くなりまたRC造を対象とした工業化工法の開発も盛んである。

3.2.2 各種工業化工法

S造は、工場生産された部材を建設現場で接合するのが一般的である。また、構造体の接合部に対する設計法が確立されており、施工しやすい位置に接合部を設けるような部材分割であっても設計的に容易に対応できる。したがってS造においては、すでに大部分が工業化され

ており、現状の工法においては生産性の向上、省力化にも当然限界がある。

RC造は、鉄筋工事、型枠工事、コンクリート工事で構成されており、現場作業が煩雑であると共に、設計方針が一体に構築されているということが前提であるため、工業化が困難な構造形式である。SRC造になると施工は更に煩雑となり単純に工業化できにくい。

RC造、SRC造においては、鉄骨工事、鉄筋工事、型枠工事、コンクリート工事のいずれかが滞ると全体の作業が遅れることになり、逆の見方をすると1つの工事だけを合理化しても全体の工程を短縮することは難しい。このため、躯体工事全体について各部位ごとに施工法を分析し、各種の要素技術を開発するとともに、建物規模、形状、立地条件などを考慮した上で、これらの要素技術を合理的に組み合わせ、施工システム全体を開発することが重要となる。

3.2.3 鉄骨工事の合理化

鉄骨構造は、2～3階立ての店舗、住宅建築から東京都新庁舎に代表されるような超大型の超高層建築まで適用範囲が非常に広い。60mを超える超高層ビルはその大部分が鉄骨造であり、既に数十棟が建設されているが、最近竣工した話題の建物としては、日本電気本社ビル（1990年竣工）、東京都新庁舎（1990年竣工）、横浜ランドマークタワー（1993年竣工）などがある。中でも東京都新庁舎は、第1庁舎（B3～48F、高さ243m）、第2庁舎（高さ163m）、議会議事堂等を合わせた述べ床面積は約38万2千㎡、使用鉄骨量は約7万9千tonであった。このような大規模の建物を工期33か月で施工するために各種の省力化工法が開発された。

横浜ランドマークタワー（高層棟：B3～70F、296m 述べ床面積39万22843㎡、施工期間：1990.3～1993.6）は規模、高さ共に東京都新庁舎を抜いており高さ日本一の建物である。

鉄骨造の施工に際しては、設計段階から以下のような検討がなされている。

①部材分割方法の検討

柱部材は製造、運搬、建て方計画等を考慮の上分割する。一般的には1節3層分程度である。施工の合理化を図る目的から1層1節とする積層工法もある。また、梁部材は梁端で分割する場合とスパンの中央部で分割する場合がある。スパン中央で分割する場合は当然柱部材と一体となった十字、キ字等の形状となり、特殊な工法となる。いずれにしても、部材分割は建て方計画を検討した上で設計時に決定される。

②接合方法の検討

部材どうしの接合は溶接または高力ボルト接合である。接合形式によって部材形状が異なるので、設計に先立って決めなければならない。

③SRC造の場合

あらかじめ鉄骨とRC部分を一体にしたプレキャストSRC部材を用いる場合は、鉄骨の部材分割、接合方法以外にRC造部分の接合方法についてもあらかじめ検討しておく必要がある。

④鉄骨造では通常無支保工の床工法を用いる。床工法についてもあらかじめ十分な検討が必要である。

⑤H形鋼の製造方法には圧延方式とビルトアップ（溶接組立）の2種類がある。任意の形状が得られることから、これまでの一般建築においてはビルトアップH形鋼が主流を占めていた。しかし、ビルトアップの製造には多くの溶接を必要とし、コストアップの原因となっていた。部材コストを下げる目的から、ロールH形鋼を使う設計が多くなってきた。

⑥鉄骨造の最大の欠点は耐火性の乏しいことで、耐火被覆を施さなくてはならない。工費削減、工期短縮、面積有効利用などの理由から、被覆工事軽減のニーズは極めてたかい。耐火被覆の工事を削減する目的から、被覆を1/2～1/3に削減できる耐火性に富んだ鋼材や、無被覆でも良い鋼材も開発されている。

これらの検討は設計の段階で行われ、鉄骨加工、現場組立へ移行されるが、工事の段階においてもさらに以下のような合理化が図られている。

⑦大型揚重機の採用

都新庁舎の工事では990tmのタワークレーンが用いられ、我が国最大の大型クレーンであると騒がれたが、ランドマークタワーでは、これよりもさらに大きい1500tmのタワークレーンが用いられている。

⑧部材の大型化

部材の運搬は、道路交通法によって制約がある。このため、工場で作成される部材の大きさは運搬可能な大きさで決まる。これらの部材を1ピースずつ揚重するのでは作業効率が悪いので、部分的に地上で組立を行い、組み立てられたブロックを揚重する工法が多くなってきた。地上での組立は立地条件（組立に必要なスペースの有無）、揚重機の能力などに影響されるため、プロジェクト毎に検討が必要である。東京都新庁舎の場合は、設備配管、ダクトなども組み込んだユニットとし、ユニットの重量は最大20tonであった。ランドマークタワーの1ユニットは50～60tonであり、これらのユニットを揚重するために大型クレーンが必要となる。

⑨自動化施工

溶接、耐火被覆の吹き付け、カーテンウォールの取り付け、舗装などの作業をロボット化し、大幅な省力化を図っている。

3.2.4 RC造における鉄筋工事の合理化

(1) RC造の合理化施工法

RC造における、鉄筋工事、型枠工事、コンクリート工事の3つの主要工種それぞれの工種の組み合わせによって工業化の手法が開発されている。

(2) 鉄筋作業

かつて鉄筋の現場接合は、番線結束あるいは溶接による重ね継手であったが、鉄道のレール接合に使われていたガス圧接工法が導入され、現在では現場鉄筋接合の主流となっているこのガス圧接工法も自動化が進められ、一度に数箇所の太径鉄筋を自動圧接する装置まで現われている。このほか、太径の異形鉄筋の接合には各種の機械式継手（メカニカルジョイント）も使用されている。

現場の配筋方法も、現位置で1本1本組み立てる方法から、現在ではある程度の大きさのユニットに、工場あるいは現場周辺の地上で組んだものをクレーンなどで吊り上げセットする「先組み工法」へと変わってきている。中には、1～2階高分の柱鉄筋ユニット、1スパン長分の梁鉄筋ユニットを先組みして吊り上げ、機械式継手で接合、床スラブにはメッシュ状に溶接した鉄筋ユニットを敷き込んでコンクリートを打設するなど、思い切った鉄筋工事の省力化を図っている現場もみられる。また発電所や地下LNGタンクなど大型構造物では、1本約100kgという太径・長尺鉄筋を取り扱う場合も多い苦渋作業から作業員を解放するための鉄筋自動配列装置や自動結束装置などが開発されるなど、ロボット化の傾向もみられる。

鉄筋工事においては、市販されている鉄筋が一定の長さに切断されているため、鉄筋コンクリート構造物に用いる場合には必ず継手が必要である。

在来工法（鉄筋を個々に接合する単体継手）では重ね継手、ガス圧継手などで接合しているのが一般的であり、これらの継手方法は継手コストも安く、簡便で、特に重ね継手などは熟練工を必要とせず、施工的にも特に問題のない継手工法であるが、継手箇所は応力の小さい位置に設け、かつ、一か所に集中しないのが原則である。

鉄筋工事の代表的な合理化工法は、ユニット化、プレキャスト化である。これらのユニット部材を接合するのに、機械的継手が用いられる。

(3) プレキャスト工法への適用

プレキャスト柱の建て方の一例はモルタル充填式継手である。プレキャスト梁部材は断面のうちスラブ下までをプレキャスト化し、上端筋は現場で通し配筋する工法が一般的である。したがって下端筋と上端筋の継手工法が異なる場合が多い。プレキャスト梁の場合は下端筋はエンクローズ溶接継手で、上端筋の継手はガス圧接またはねじふし継手を用いる場合が多い。モルタル充填式継手は一般的に鉛直部材に用いることが多いが、梁筋の接合にネジスリーブ継手を用いる場合もある。

(4) 型枠工事

戦後の高度成長に伴う工事量増大は、素板工法としての合板が普及し、組立ても栈木が同時に組み込まれるなどの合理化を経て今日に至っている。その間、型枠工事は関連するコンクリート・鉄筋工事の進歩に伴い、工法的にも変わってきた。仕上げ材を先付けした方法、コンクリート打込み後も構造体を兼ねるプレキャストコンクリート版の利用、支柱組立ての工夫、とくに無支柱工法は最近では当たり前にならなってきた。一方、はく離剤や締付け金具類の改良、さらには施工管理者と型枠大工としての技能工の資格制度も軌道にのってきた。

新しい材料としてのせき板やパネルの開発も目覚ましい。その他、大型型枠工法、デッキプレート、ハーフPC板の床工法などがあり、支保工の改良、そして無支柱工法も可能にし、打込み時の下階での締固め作業をも容易にした。

一方、仕上げも同時に行う打込み型枠が出現し、タイルや石、さらにはサッシの先付けなどが出来るようになった。これらの打込み締固めも新しい分野といえる。

(5) コンクリート工事

現場プラント時代は、製造した生コンをプラントからタワーまでトラックやアジテータートラックで運び、バケットに受けてタワーによって打込み階まで揚げ、ホッパーに溜めたのちネコ車で水平運搬し打設していた。生コン時代になってからも、しばらくはこの垂直・水平運搬方法がとられていたが、低層建築ではベルトコンベアやムカデコンベアによる場内運搬も行われていた。これが、コンクリートポンプ工法の登場で大きく変貌したのである。現場に横付けしたコンクリートポンプ車が生コン車から受けた生コンをホースで圧送し、そのまま直接打設する。当初は水平運搬、あるいは2～3階高までの圧送だったが、現在ではポンプの高能力化により、最高200～300mまで一気に圧送できる。生コン車から打設場所までの運搬に他の機器や作業が一切必要なくなった。従来からみれば大幅な省力化である。

しかし、現状にはまだ問題がある。確かに運搬・打設

のスピードアップは図られはしたが、その打設作業は大変である。ポンプ工法による打設では、筒先ホースの振り回しは重労働で、汚れ作業である。しかも、コンクリートの輸送管は鋼製で、中身が詰まっているので重く、盛り替えに多くの人力を要する。また、重いホースを持って走り回るため、配筋を乱す恐れもある。これを機械化で解決しようとしたのがディストリビュータである。

建設A社が機械メーカーと共同開発した「コンクリート水平ディストリビュータ」は、鉄骨柱などに取付けた部分を支点として、空中で水平に4つに折れ曲がるビームで筒先を移動させ、コンクリートを打設する。20~40%の作業能率向上と、20~30%の省人化を実現、多くの実績を持っている。

さらに、これに改良を加えた新型装置は、ディストリビュータにパソコンを搭載し、施工図に従って打設フロアの形状や柱などの障害物の数・形状・位置の情報をあらかじめ入力しておけば、あとはオペレータが8方向に作動する1本のレバーを任意の方向に動かすだけで、自動的に4本のブームの関節角度や障害物の有無を演算・確認して、筒先を素早く目標地点に移動させる。演算スピードは、0.2~0.3秒と短く、1日辺り350~400㎡の打設が可能といわれる。

B社が開発した「簡易ディストリビュータ」は大型装置のように油圧・動力を使用せず、すべて人力で操作できるようにしたもので、スラブ配筋を乱すことなく、コンクリートを容易に打設できる。RC造の建物にも使用できるように、スラブ型枠上に組んだ走行架台の上に機械を乗せてコンクリートを打設するもので、油圧やモータがなく、人力で簡単に筒先を振り回せるのが特徴である。小型・軽量で扱いやすく、機械や筒先の移動も簡単なうえ、折り畳めば4トントラックにも積める。

バイブレータによる振動締固め工法は、突き固めに比べれば人員もはるかに少なくすむが、作業そのものは決して楽ではない。最近ではメーカーの工夫や新材料の採用でバイブレータ自身の軽量化が図られているのも、このためである。

ここで注目したいのは、最近の締固め不要の新コンクリートの登場である。新しいセメントや混和剤の配合、新混練装置の使用によって、流動性と粘性を兼備したパフォーマンスコンクリートを製造するもので、この新コンクリートを使用すると配筋や配管の混み入った狭い型枠内でも隅々まで行きわたり、締固めが不要である。

3.2.5 内装工事の省力化

(1) 内装工事の特徴と自動化・ロボット化の必要性

最近のビル建築は、規模の大型化、高層化にともない、さまざまな業種が輻輳して施工を行うものが多くなり、内装仕上げも、規模・構造・業種などによって、耐火性、防水・防湿、防音・遮音、断熱など多様な機能が求められている。これは、中・小規模のビル建築においても同様の傾向である。

内装工事を作業対象部位別に分けると、大きくは床仕上げ、壁仕上げ、天井仕上げの3つに分けることができる。

内装工事は工事別に分業化され、そのほとんどは人手によって行われている。例えば、内装工事にボードを使用する場合、そのボードの重量や寸法は、作業効率を高めるために、人間の取り扱える限度近くまで大きく設定されているため、天井用で約10数kg、壁用で40kgもあり、それを取り扱う作業員には相当な肉体的負担がかかる。また、人間の連続作業には限界があり、長時間作業を続けると疲労が蓄積し、作業効率も低下する。さらに、天井を施工する場合には、作業用仮設足場をフロア全体に設ける必要があり、作業はその足場上での上向き作業となるために苦渋作業である。

(2) 内装工事関連の自動化機器・ロボットの開発状況

内装工事関連で、現在までに発表された自動化機器、ロボットなどを整理してみると、表-3.2.1~表-3.2.3に示すとおりである。ここ数年で天井、内壁などのボードやパネルの取り付け、自走式昇降足場など約10機種が開発され、内装工事関連の自動化、ロボット化は活発で、また、開発段階も市販あるいは実用化までに達しているものも多く、現場では比較的活用されている。すなわち、自動化、ロボット化が進んでいる分野のひとつである。内装工事関連の自動化機器・ロボットの機能をみてみると、自走式昇降足場を除いて、そのほとんどが一つの作業を人手の代わりにさせる専用機であり、2つ以上の作業をこなす多機能はあまりない。

また、移動方式、動力、基本機能などを他の工事分野と比較すると、

- (1) 自動化機器、ロボットの使用環境が屋内であるために、その移動方式は床面を利用した水平移動が主体であり、車輪、ローラ、キャタピラなどの走行方式が採用されている。
- (2) 屋内使用であるために、動力もまた屋内環境に悪影響を及ぼさない電動が多い。
- (3) 内装工事の場合、乾式材料の取扱いに主眼がおかれ、その材料の把持、移動、保持動作などのハンドリングおよび材料のハンドリング装置への供給に力点を置いて開発されたものが多いなどの特徴がある。

表-3. 2. 1 内装工事関連の自動化機器・ロボットの開発状況とその特徴

| 作業対象部位 | 名称 | 開発年度 | 対象作業 | 特徴 | 寸法 | 重量 | 現場実績 |
|--------|--------------------------------------|----------|------------------------------------|--|---|-----------------|----------|
| 壁 | ボード貼りロボット (大成建設) | 1987年10月 | 石膏ボードやウレタ、ガラス、石材など内外壁面の仕上げ材の取り付け | <ul style="list-style-type: none"> 重量90kgまでの吸着保持が可能な資材を作業員のわずかな力で扱える。 長さ4m前後のボードも軽く操作できる。 7-△半径が2m、旋回角度450°と幅広い作業が可能。 機動性を考慮し小型化。バッテリー自走。 作業用電源はAC100V。 | L1, 900 × W640 × H2, 700mm | 800kg | ホテル、事務所他 |
| | 壁パネ取り付けロボット 「パネター」(大林組) | 1990年6月 | ALC(軽量気泡コンクリート)パネなどの乾式内壁材の自動的な取り付け | <ul style="list-style-type: none"> 小型・軽量のため工事用E.Vで運搬可能。 自在車輪により真横にも走行可能。 移動に電動走行方式を採用。 長さ5.5m、積載重量350kgまで使用可。 | L1, 600 × W900 × H3, 500mm (下降時 × H1, 750mm) | 820kg | 事務所、百貨店他 |
| | ALC板建て込み ロボット「カールボット」 (日本国土開発) | 1990年10月 | ALC板の建て込み作業 | <ul style="list-style-type: none"> 人間介入により操作が簡単。 荷物のみを機械に持たせたため、力仕事から作業員が解放され、安全性が向上。 微妙な動きは手動による操作としたため、高精度の取り付けが可能。 作業の省力化が図れ、能率が向上。 二重の安全装置を装備。 横積み状態から作業が可能。 | 7-△延伸時 L4, 100 × H2, 900mm 7-△短縮時 L2, 600 × H2, 350mm | 1, 500kg | 工場、倉庫他 |
| 天井 | 天井ボード貼りロボット「CFR-1」 (清水建設) | 1987年9月 | 天井ボードを支える作業の代替 | <ul style="list-style-type: none"> 従来、ボード1枚の張り付けに3~4分を要していたものが2分程度で済む。 天井ボードを支える苦役作業がなくなる。 全面作業足場が不要となり、足場の組立・解体にかかると時間と時間を軽減。 | 本体 L1, 380 × W700 × H1, 750mm ボード+リ L1, 900 × W500 × H1, 000mm | 350kg (リ+リ共) | 事務所他 |
| | 天井作業ロボット (関電工) | 1988年8月 | 天井の天井ボードおよび照明器具の自動的な取り付け | <ul style="list-style-type: none"> 現場条件によっては、最少の作業員による長期間稼働で作業効率の向上も期待できる。 ロボット先端のツールを取り替えることで、天井の墨出しや天井ボードの切り込み、クワツバの取り付けができることにも、天井ボードおよび照明器具の取り付けなど多彩な作業が可能。 | | | |

表-3. 2. 2 内装工事関連の自動化機器・ロボットの開発状況とその特徴

| 作業対象部位 | 名称 | 開発年度 | 対象作業 | 特徴 | 寸法 | 重量 | 実績 |
|--------|--|----------|---|--|--|---|----------|
| 天井 | 内装工事用ロボット (東急建設) | 1989年9月 | 内装工事における天井ボルトの張り付け作業 | <ul style="list-style-type: none"> ボルトの供給、位置決めからねじ留め、移動までの一連の作業を全自動で繰り返す。 ボルト背面の鋼製下地をセンサにて検知し正確にねじ留めができる。 連続張り付け枚数、天井高さ、ねじ留めどりは施工条件に応じ操作盤から簡単に入力可能。 ロボット本体は床面に設置した基準線に沿って進行方向を補正しながら走行。 707全面への作業足場の設置が不要になり安全性と施工能率の向上が実現。 | 本体 L1, 600 × W800 × H1, 800mm ボルト+707 L1, 600 × W780 × H1, 100mm | 本体 900kg ボルト+707 300kg | 事務所、ホテル他 |
| | 天井ボルト貼り機 「ボルト・貼」 (大成建設・日本技術センター) | 1989年10月 | 天井用石膏ボルトの張り付け作業 | <ul style="list-style-type: none"> 707内運搬機を兼ねる手押し式のボルト補給機により、ボルトの作業箇所への運搬を省力化 ボルトを所定枚数搭載し作業箇所へ自走。 搭載されたボルトをボタン操作により軽量鉄骨下地まで精密、位置決めとねじ留めを入手により行う。 3輪走行のため小回りが効き、作業箇所への幅寄せが容易。 作業場での機動性を考慮し、小型化。 | L1, 500 × W750 × H1, 700mm (通常作業時 × W2, 000mm) | 600kg | 事務所他 |
| | 天井ボルト張り機 「天井ボルト」 (熊谷組) | 1991年6月 | 天井内装工事のうちの捨張り工法に使用(下地ボルト張り、化粧ボルト張りおよび開口部切断作業) | <ul style="list-style-type: none"> 下地ボルトの供給、ねじ締めが自動的に実行されるので、作業効率が非常に良い。 2.4~3.0mまでの広い範囲の天井高に対応でき、供給装置には下地ボルトで約30枚、化粧ボルトで約200枚搭載できるので、ボルトの707内小運搬がほとんど不要になる。 本機は、前後、左右旋回と自由自在な走行ができるので作業効率がよく行える 本機は、下地ボルト張りだけでなく、化粧ボルト張り、開口部切断作業にも使用できる。 足場の架け払いが不要となる。 施工台車は、走行足場として単体で使用できるもので、天井ボルト張りの他、設備工事や資材の場所運搬にも活用できる。 | 施工装置 L1, 850 × W2, 100 × H1, 470mm 供給装置 L1, 050 × W1, 800 × H2, 150mm | 施工台車 950kg 施工部 385kg 供給台車 360kg ボルト供給機 80kg | 事務所他 |

表-3. 2. 3 内装工事関連の自動化機器・ロボットの開発状況とその特徴

| 作業対象部位 | 名称 | 開発年度 | 対象作業 | 特徴 | 寸法 | 重量 | 現場実績 |
|--------|--|----------|--|---|---|---|------|
| その他 | コパ・カスティング 「昇太郎」 (アサヒ・日本車輻製 造) | 1989年7月 | 建築内装工事の省力化と効率化をはかるための自走式高所作業台車 | <ul style="list-style-type: none"> 狭い場所でも簡単に移動できるように縦・横走行、S字・ピボットターンが可能。 作業台は拡張方式採用により、広い作業スペースを確保。 昇降機構はガス方式を採用し、高さも自由にコントロール。 ハッチ式動力により、列-ワゴ作業環境を確保。 牽引装置により、他の台車との組み合わせも可能。 | L1, 890 × W900 × H1, 610mm | 750kg | 事務所他 |
| | パナム足場「ヒコカ」 (大成建設・日本技術センター) | 1990年8月 | 天井作業の足場に関する作業の軽減を図る自走式天井作業組立足場 | <ul style="list-style-type: none"> ハッチで動く駆動車を中心にし、足場車、足場板から構成され、現場で簡単に組み立て可能。 足場車、足場板を組み合わせることによって作業場所の条件に応じてさまざまな面積を作ることが可能。 作業床の昇降が自由自在。 駆動車に石膏ボードなどの資材の運搬を兼ねる補給機を連結することも可能。 | 駆動車 L1, 900 × W750 × H1, 730mm 補給車 L1, 160 × W750 × H1, 180mm 足場車 L1, 230 × W710 × H625mm 足場板 L1, 260 × W500mm | 駆動車 500kg 補給車 115kg 足場車 43kg 足場板 9kg | 事務所他 |
| | 屋内工事専用車両 「SV-030」 (要知車両) | 1988年12月 | 内装工事から足場をなくし工期の短縮を実現した小型機動足場 適応作業としては、めくろばり取り付け、断熱材の吹き付け、配線工事、天井張り、スリッパ取り付け、照明器具取り付けなどあらゆる内装工事に対応 | <ul style="list-style-type: none"> 最大作業床高さ2.7mを確保しながら、連続した作業が可能。 軽軌コバ外設計でエレベーターに乗り込め、各707個を自由に移動。 資材、工具をたっぷり積み込めるスペースを確保。 ハッチ-駆動方式により、騒音や排気の心配がない。 | L997 × W725 × H1, 600mm | 530kg | 事務所他 |

一方、単体の内装工事関連自動化機器・ロボットの開発と並行して、資材搬送の自動化も進められている。建築作業における資材の搬送は全作業の30%程度を占めているとも言われており、資材搬送の自動化は、自動化機器・ロボットの材料供給の自動化へと連繋させる観点からも必要な技術で、現在数社から開発発表がなされ、実用化が図られている。

3.3 施工機械、ロボット技術部門

本節は資料「下部工事の無人化・自動化技術講習会講演資料」の「建設工事の無人化・自動化」¹⁾の内容をとりまとめたものである。

3.3.1 建設自動化・ロボット化の歴史

わが国の建設機械の自動化が始まったのは昭和30年代初頭である。最初に自動化が行われたのはバッチャープラント（コンクリートプラント）で、リレー制御によるインターロック機構を導入したフィードバック制御によるワンマンコントロールを実施している。昭和37年になるとアメリカ合衆国から、舗装の平坦性を確保するためにスクリーン自動制御装置付アスファルトフィニッシャが導入され、東名高速道路の建設に使用された。この時代の制御デバイスは、まだ真空管が中心であった。昭和40年代に入り、制御デバイスのトランジスタ化が始まり、振動や塵埃の多い建設事業の厳しい環境条件に耐える制御装置が入手できるようになり自動化が進んだ。目立って作られるようになったのはリモートコントロール機である。リモコンブルトローザ（44年）、水中ブルトローザ（43年）、リモコンショベル（47年）、水中バックホウ（47年）などが矢継ぎ早に開発されている。当時、建設省が共同開発した無人潜函掘削機は函内に設けたバックホウを自動運転またはリモートコントロールで稼働させ、掘削土の排出も自動化していた。

オイルショック後建設機械の自動化は一時下火となったが、昭和50年代に入ると工場に産業用ロボットが導入され、省力化・労働生産性の向上に大きな成果を上げたのをうけて、建設機械も自動化・ロボット化に向けた研究開発が活発になった。さらに、ICが開発されて集積化が進み制御装置の信頼性が向上し小型化も進展した。昭和50年代当初はリモコン機が主体で、クレーン、ダム用コンクリートバケットの脱着装置のリモコン化が図られている。また、当時の省エネ指向から、色々なアスファルトリサイクルプラントが開発されているが、それらは、相当高度に自動化されたものであった。

昭和53年頃からマイコン制御の機械が現れ始める。シ

フトブルコンベヤ、ダム用コンクリートトランスファーカーの自動運転などがそれで、昭和54年になるとコンピュータ制御を表示した機械が急に増えてくる。例えばコンクリートプラント、地下連続壁掘削機、グラウト機械、NATM用コンクリート吹付機などがあげられ、また吹付ロボットなどロボットという言葉が用いられ始めたのもこの頃である。

さらに昭和55年には、油圧ジャンボ、コンクリート吹付機、小口径推進機などの全自動化を図った機械が相次いで発表された。これらの機械は全自動といっても、監視員としてのオペレータが必要なものがほとんどで、ワンマンコントロールが可能なものを全自動と呼んでいるケースが多い。

昭和56年には、シールドやNATMの施工に当たってのトンネル断面の自動計測装置や杭打機の記録計など計測・記録の自動化も発表されている。

昭和57年は、建設機械自動化にとって実り多き年で、より自動化程度の高いコンクリート吹付ロボット、シールド掘削機、ジャンボ、サーフェスリサイクル機械が相次いで発表されるとともに新しい機種としては、耐火被覆吹付けロボット、ローラの自動運転、大深度地中連続壁機械などがあげられる。また部分的に自動化を図った機械としては、油圧杭引抜機、ホイローダ、ケーソン内ショベルなどがある。

昭和58年はいわゆるメカトロ機械と呼ばれる機械が急増した年で、すでに発表された機械の第2世代ともいべき改良型が多く発表されたほか、新しい機種として海底捨石均しロボット、音声モニタ付コンクリートポンプなどがあり、バックホウ、ケーブルクレーン、アスファルトフィニッシャの自動化も進められ、マイクロコンピュータの利用がより普遍的になった年である。

昭和59年に入ると、専用機の自動化が目立つようになり、人力施工にとって代わるとい産業用ロボットの発想のものが出現する。例えばコンクリートプレーシングクレーン、自動玉掛け外し、壁面目荒らし機、重量鉄筋配筋機、傾斜面舗装システムなどである。昭和60年代に入るとこの傾向はますます強くなり、コンクリート床ならしロボット、建築外壁の診断ロボットや外壁舗装ロボットなどが多くの会社から競って発表されている。一方、建設機械へのマイクロコンピュータの応用はますます盛んになり、バックホウやローダといった重量機械にも、マイクロコンピュータが一部品として用いられるようになった。シールド掘削機、小口径推進機、地下連続壁掘削機などでもその操作の自動化や計測・計量などにマイコンがごく一般的に用いられるようになった。このほか

ダム工事の生コンクリートの無人運搬システムや複数クレーンの相互干渉防止といった複数機械の制御にも用いられるようになった。

こうした建設ロボットの導入は、ますます多くの工種・工程にひろげられているが、現在までのところ、省力化よりは労働環境の改善、品質の向上といった面のメリットが強調されており、経済的に引き合う機械はあまり見当たらない。

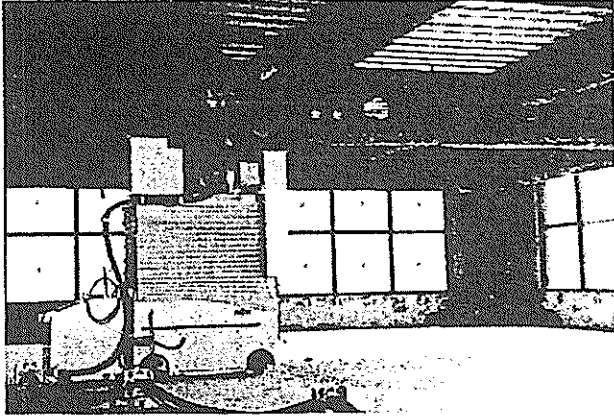


写真-3.3.1 耐火被覆吹付けロボットシステム
(株)フジタ

3.3.2 建設用ロボットの現状

現在、多くの機種について自動化が行われているが、油圧バックホウなどの一部を除くと、比較的生産台数が多くロボットと呼べる程度に自動化が進んでいる機械は、油圧ジャンボ、コンクリート吹き付け機、耐火被覆吹付けロボット(図-3.3.1)²⁾、コンクリートディストリビュータ(図-3.3.2)³⁾、セグメント自動組立機(図-3.3.3)⁴⁾、床仕上げロボット等であり、残りの多くは生産台数が少なく、テスト的に使われているケースが多い。

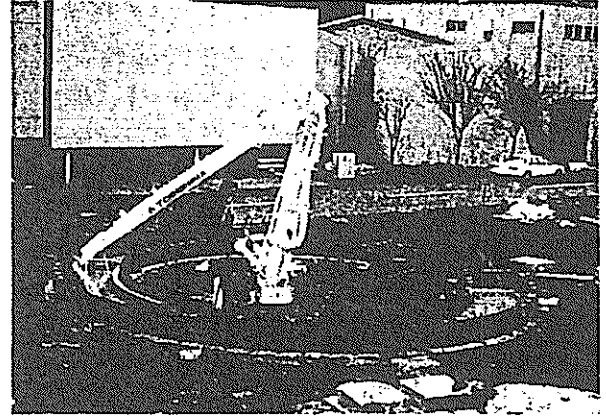


写真-3.3.2 コンクリートディストリビュータ
(飛鳥建設(株))

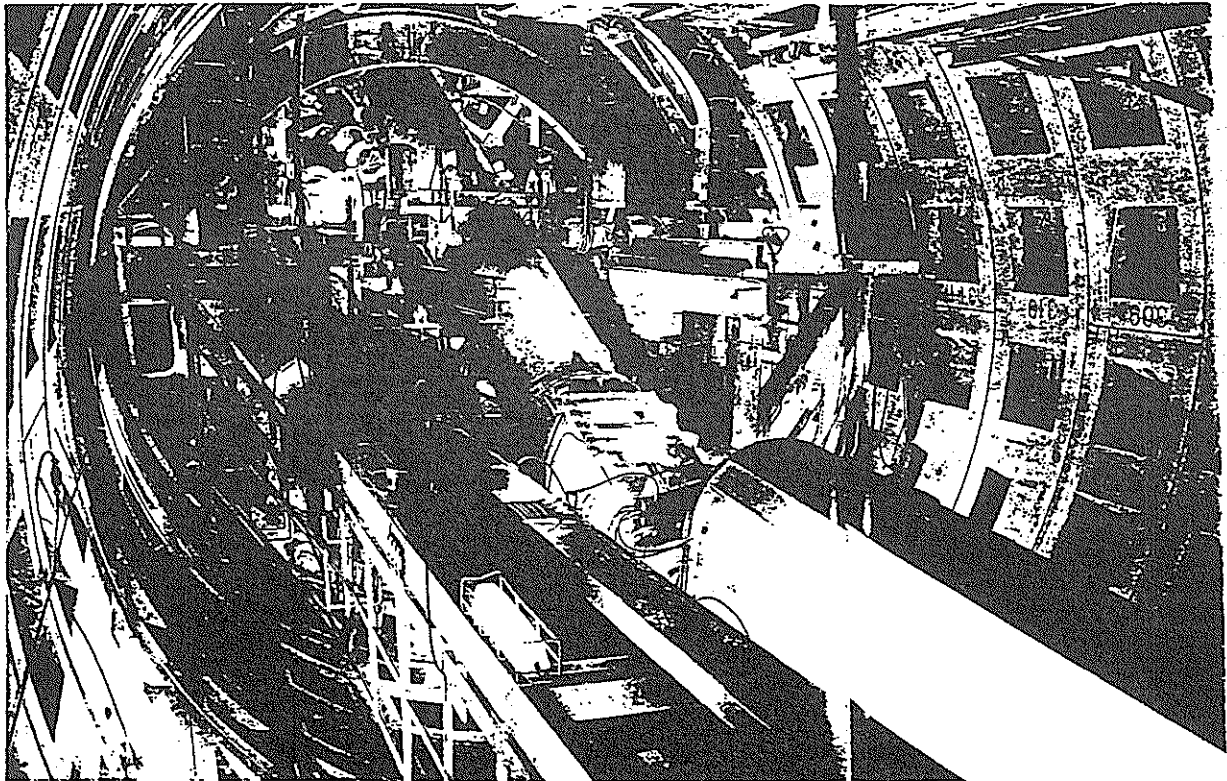


写真-3.3.3 大型シールドマシンと自動組立されたトンネル内壁セグメント(コマツ)

開発機の状態を見ると、

- ①オペレータの作業環境の改善では概ね良好である
- ②能率向上の面では、自主的に開発されている場合は達成されている。
- ③省力化では、作業員の負担軽減に役立っている、といった利点がある。

一方、問題点として、

- ①経済的に引き合わない
 - ②施工条件に選択性が強い
 - ③稼働現場が少ない
- などの課題がある。

以下に最新の建設機械の自動化の例として、建設省が公募した雲仙普賢岳の20万立方メートルの土砂を無人で取り除く技術を紹介する⁶⁾。現在、雲仙普賢岳では約2億立方メートルといわれる膨大な土石流が堆積している。その撤去には火砕流への安全対策として、無人による土石の小割、掘削、積込み、搬出作業が要求されている。

その一例として、大成建設(株)が実用化したGPSを利用した「無人化重機システム(写真-3.3.4)」の公開実験(長崎県島原市)について説明する。



写真-3.3.4 無人機の実験概要図(大成建設)

このシステムは、「GPS 精密リアルタイム測位法」によって無人重機と基準点にそれぞれGPS受信機と通信装置設置することで、無人重機の三次元位置を遠隔基地のパソコン画面で即座に把握できる。すなわち、基準点で受信したGPS衛星からの電波信号と無人重機で受信した衛星からの信号とをデータ受信機を介して自動解析し、位置を求める。こうして無人機上で求めた三次元位置情報を遠隔基地へデータ転送し解析表示することにより、施工場所の平面図、断面図、立体図などを短時間

に出力するシステムである。

公開実験ではこのシステムを用いて、あらかじめ光波測距離で測量した測定点上を無人重機が走行し(図-3.3.1)その三次元位置情報をおよそ100m離れた中央監視所のディスプレイ上で確認することができた。なお、地盤の高さは無人重機上のGPSアンテナ取付け高さを得られた測定値から差引いて自動的に求める。以上のようにすることで施工中の掘削地盤等の位置と高さを把握する。解析にはGPS LANDY SYSTEM(Land Dynamic Management System)を利用し、データの解析、出力を行った。

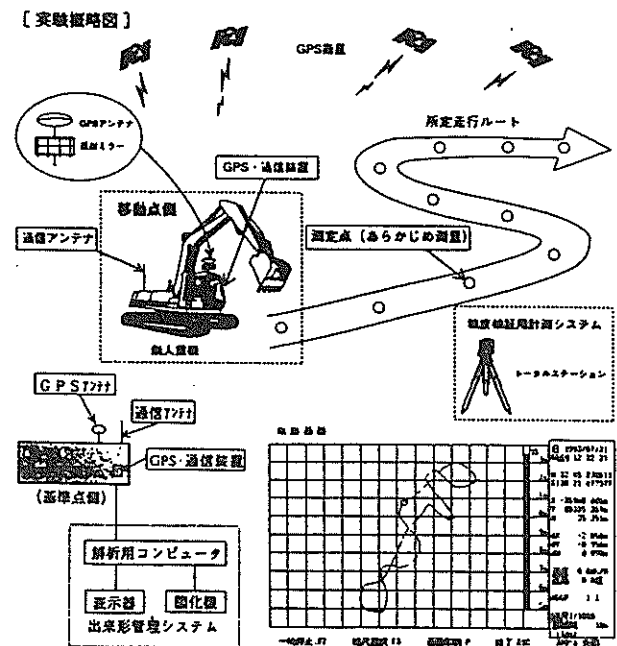


図-3.3.1 無人化重機管理(於長崎県島原市)

その結果このシステムが、無人重機の三次元位置がリアルタイムに高精度で測位できること、工事現場での悪路や風雨など過酷な条件下でも耐えうるものが我が国で初めて実証された。このシステムを導入することで、近い将来、重機上で得られる情報をそのまま重機の制御データとして利用すること、コントロール基地に送られる位置情報を基に他の重機の無人操縦に利用すること、いずれも可能となる。

雲仙普賢岳の災害復興工事をはじめとして、災害復興技術としての遠隔無人化重機システムへのニーズは急速に高まっているのが現状である。

3.3.3 建設ロボットの今後

現在、建設ロボットとして各種開発が行われているが、その数は100台程度である。その理由として第一にあ

げられるのは、前述のようにそれ自体では経済的に引き合わないことにある。第二には現場の施工条件とのミスマッチがあげられる。このほかメカトロ機を扱える現場作業員の不足の問題もある。

従って今後ロボット化を進めるためには、

- ① ロボットを導入し易い形に変えてもらう必要がある。例えば施工単位を大きくし、途中の障害物をできるだけ減らすなど。
- ② できるだけ広い施工条件に適合できるロボット（できれば汎用機）を開発し、量産してコストを下げる。
- ③ 取扱いの容易な（専門家の不要な）ロボットとする。などの方策が必要である。

産業用ロボットでは最近知能ロボットの開発が盛んであるが、建設工事用ロボットはもともと知能ロボットの働きを要求されるものが多く、その意味ではまだ未来のものというべきで、いわゆる人工知能（AI）の進歩に

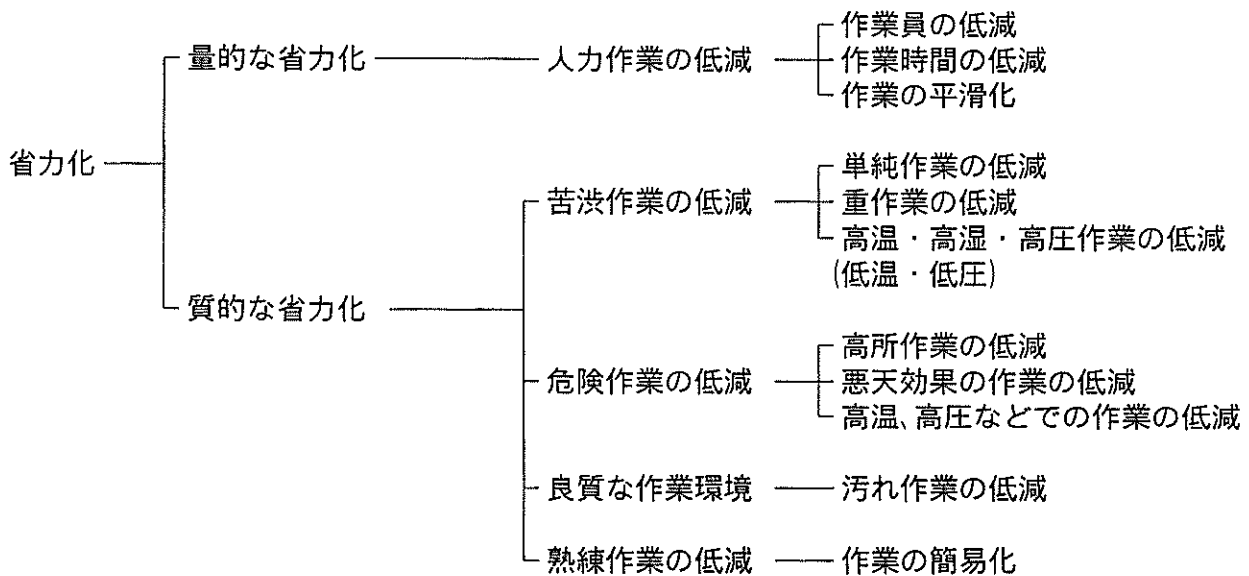
大きく期待したいところである。また建設工事は1台の機械で行われることよりも、複数機で施工されるケースが多い。従って一機種だけのロボット化は効果が減殺されるので、システムとしてのロボット化が望ましい。その場合必要な技術は群制御技術と通信技術で、現在進められているこれらの技術の開発結果も建設ロボットの開発に大きく寄与することが期待される。

4. 港湾工事における省力化技術

4.1 省力化の定義

本報告書での省力化技術は、港湾工事に関連する技能労働者の人力作業の削減、苦渋作業の低減、熟練作業の低減を図るよう各種工法、材料、設計法などを改善するために提案されたものである。省力化の基本概念を表-4.1.1に示す。

表-4.1.1 省力化の概念



4.2 省力化技術の現状

港湾局の技術開発項目は、各建設局と港研での試験研究項目で整理されている。平成7年度の試験研究項目は、(1) 沿岸域空間の再編成の対応、(2) 高効率輸送への対応など12項目を取り挙げており、この中で5番目に「省力化への対応」がある。ここでの内容を表-4.2.1に示す。省力化技術に関する技術開発や研究は、古くからなされてきているが具体的に「省力化」の用語が試験研究計画に使用され始めたのは平成3年度からである。この項目に対応している各部局での試験項目を表-4.2.

2に示す。この表は、港湾局で毎年整理している試験研究計画に従っている。港湾局での省力化技術は、鉄筋コンクリート製ケーソンの製作に関する省力化技術と現場施工での機械化とに大きく分類できる。既に幾つかの省力化技術は実証試験の段階や一部実工事に採用されている。港湾局での省力化の基本戦略を表-4.2.3に示す。

表-4.2.1 試験研究項目 (平成7年度)

| | | | |
|---------|----------------|--------------------|---|
| 省力化への対応 | 1)省力化施工技術 | ①調査・施工の機械化・ロボット化技術 | 潜水探査、水中探査、構造物検査、鉄筋組立、型枠組立、水中多機能作業機械 |
| | | ②省力化施工技術 | パネルシステムケーソン、型枠兼用構造、鉄筋ケーソン、鉄筋網ケーソン、ケーソン自動据付、水中ブロック自動据付 |
| | 2)高性能・高効率施工技術 | ①総合工程管理技術 | |
| | | ②計測技術 | 計測機器の高精度化、水中レーダー計測 |
| | | ③水中施工管理・検査技術 | 水中部可視化 |
| | | ④情報化施工技術 | 水中・気中及び水中間での情報伝達システム |
| | | ⑤施工計画技術 | 施工管理、工程管理 |
| | ⑥複数・大型事故回避システム | | |

表-4.2.2 省力化技術に関する試験研究項目

| 項 目 | 平成元 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 主実施機関 | 実証試験導入実績 |
|----------------------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|------------|----------------------------------|
| プレキャストケーソン構造開発調査 | | | | ← | | | | | → | 一 建 | 酒田港 |
| 大型ケーソン製作自動化技術 | | | ← | | | | | | → | 二 建 | 常陸那珂港 |
| パネルシステムケーソン構造開発 | | ← | | | | | | | → | 二 建 | 横須賀港 |
| 水中施工ロボットの開発 | | | | | ← | | | | → | 二 建 港 研 | |
| コンクリート製港湾構造物の省力化技術開発 | | | | | ← | | | | → | 港 研 | —— |
| 省力化施工に関する実態調査 | | | | ← | | | | | → | 一 建 | —— |
| 省力化施工防波堤の開発 | | ← | | → | | | | | | 一 建 | —— |
| 港湾工事における機械化自動化 | | | ← | | | | | | → | 四 建 | —— |
| 超高流動コンクリート調査 | | | | ← | | | | | → | 三 建 | 神戸港 二重丸 島ネ トンネル ケーソン |
| コンクリート締固め作業の自動化 | | | | | | | | ← | → | 北 開 | |

表-4.2.3 省力化の基本的な戦略

| 方 法 | 内 容 | 実 績 例 |
|------------------|--|--|
| (1)機械化・ロボット化 | 従来の人手を機械・ロボットにとって代わる。 | 自動溶接機、捨石ならし機 コンクリート仕上ロボット、自動型枠、 トラベラー、配筋ロボット |
| (2)プレハブ化 | 現場で行う工事の一部を工場製作に代える。 部材とブロック化 | パネルケーソン ウエルドメッシュ筋 |
| (3)新材料、部材を用いる | 人手のかからない材料、部材を用い現場行程の一部を省略する。 | 高流動化コンクリート 鉄骨鉄筋コンクリート 合成版 |
| (4)設計・施工法構造細目の変更 | 従来の設計体系を変更し簡略化する。 易しく、安全にできる施工法を採用する。 | 鉄筋径、長さの統一 断面、部材厚の統一化 最適設計から標準設計への移行 ならし精度を下げる マウンド形状の単純化 |

省力化の方法として

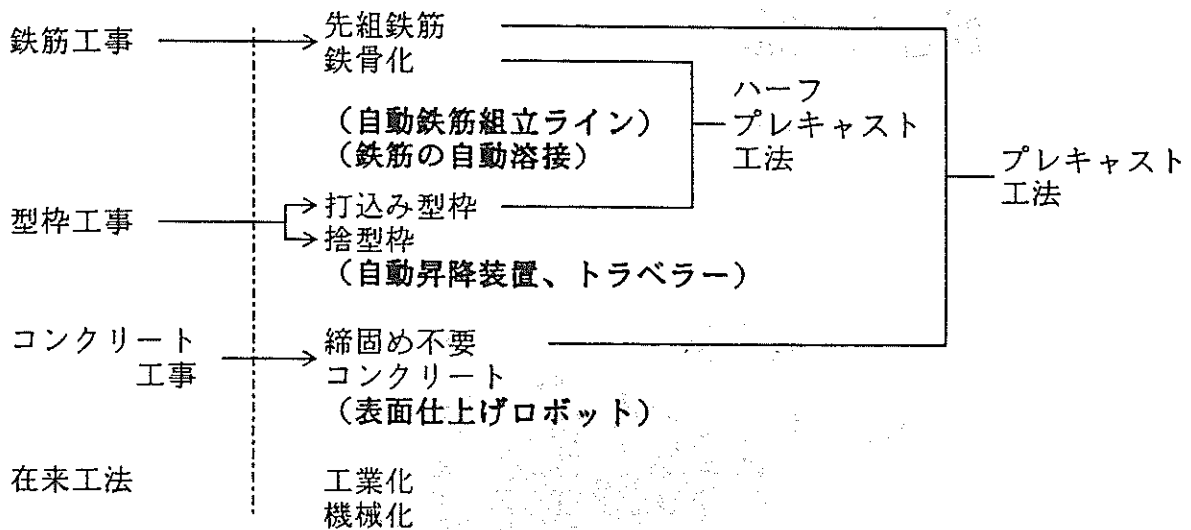
- (1) 機械化、ロボット化
- (2) プレハブ化
- (3) 新材料、部材の使用
- (4) 設計施工法、構造細目の見直しがある。

港湾工事では鉄筋コンクリートによるケーソン、栈橋、トンネル躯体の製作が多い。鉄筋コンクリート（RC）の省力化の方法を表-4.2.4に示す。鉄筋コンクリート構造での省力化の方法としては、鉄筋工事、型枠工事、コンクリート打設（養生を含む）での省力化が重要となる。栈橋での省力化のイメージを図-4.2.1に示す。ここでは、配筋作業を極力減らし、締め固め不要なコンク

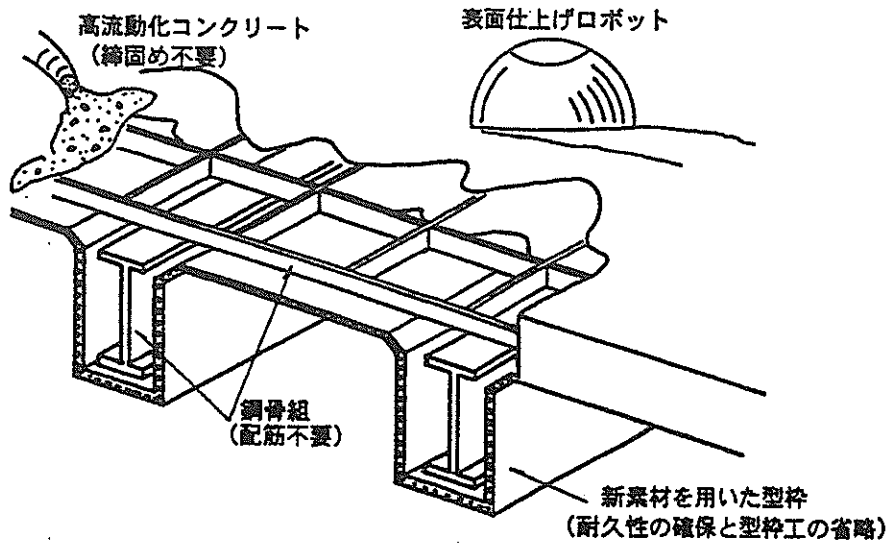
リートの選定、ロボットによる仕上げなどを想定している。また図-4.2.2では、部材のパネル化による省力化の例を示している。

民間においても省力化技術の開発が鋭意なされている。省力化での民間技術として表-4.2.5に示す16項目が現在提案されている。この表では民間技術の評価委員会（港湾局技術課）に提出された項目を掲げてある。これらの項目はケーソン製作全体システム、型枠工法、鉄筋工法の3種類に大きく分類される。ケーソン製作全体システムでは、パネル工法の提案が多い。型枠工法では自動昇降システムが鉄筋工法ではユニット組立が中心となっている。

表-4.2.4 RC構造の省力化のステップ



棧橋の上部工



(技術課題)

- ・ 新素材の設計・施工法
- ・ SRCの設計・施工法
- ・ 高流動化コンクリートの基準化
- ・ 表面仕上げロボットの仕様

図-4.2.1 省力化施工の方法策

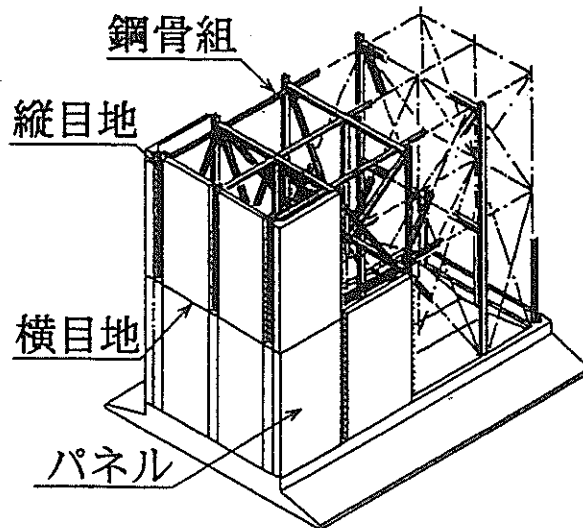
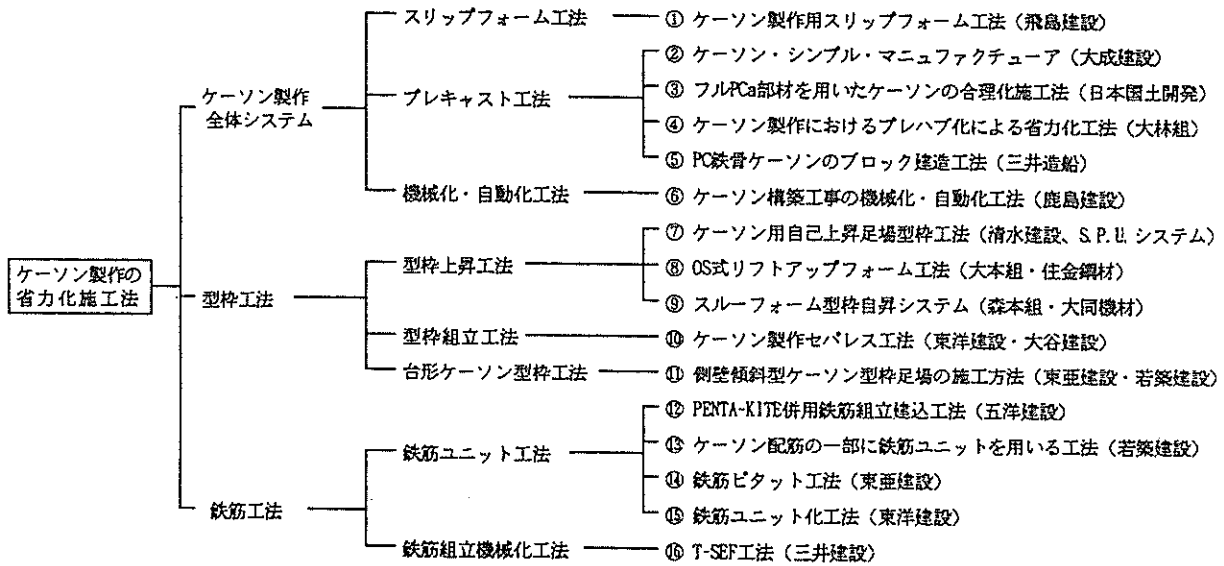


図-4.2.2 パネルシステムケーソン

表-4.2.5 民間技術でのケーソン製作の省力化

「ケーソン製作の省力化施工法」の分類図



5. 港湾用ケーソンの省力化施工技術

5.1 概要

省力化技術の開発の中で港湾用ケーソンでの省力化が、一番進んでいる。この中でパネル工法とユニット鉄筋工法が実証試験を経て現地で採用されている。パネル工法では、パネル化した合成版を鉄骨組みに取り付けてケーソンを製作する。第二港湾建設局の横須賀港の護岸用ケーソンに採用されている。ここでは外壁のみパネル化している。第一港湾建設局の酒田港では防波堤ケーソンで隔壁をパネル化している。ここでは鉄筋コンクリート版でパネル化している。両港ともパネル間の接合部の設計施工に特色がある。また実際に建設に携わった作業員数を調査し省力化の効果を確認している。ユニット鉄筋網も防波堤ケーソンに使用されている。第二港湾建設局管内の使用に限定されているが、ここでは地上でユニットを組み立てケーソン上にクレーンで運搬して取り付ける。

ユニット鉄筋の組立は結束線（番線）で行われているが溶接による方法も検討されている。自動昇降型枠、構造型枠などの採用の検討されているが、港湾用ケーソンでの実績はほとんどない。コンクリート打設の労働力を大幅に削減できる高流動コンクリートについては開発中である。民間各社が種々のコンクリート配合を提案している。高流動コンクリートは神戸港の沈埋トンネルや柴山港の二重円筒ケーソンに使用実績があるが一般的な港

湾用ケーソンにはまだ使用されていない。

いずれにせよ省力化技術は、広く普及していないのが現状である。省力化技術の項目は多いが、大半は開発段階、実証試験、試験的な採用の段階である。また設計施工法も十分整備されておらず、今後の検討と取りまとめが不可欠である。省力化の技術の普及には施工段階だけでなく設計、積算の段階から考慮しなければならない点が多く、現行の設計基準や仕様書に適合しない項目や記述されていない項目もある。今後個々の技術開発のみでなく、港湾技術社会の全体での取り組みが求められている。

5.2 プレキャストケーソン

5.2.1 プレキャストケーソンの概要

プレキャストケーソンは、隔壁及び隔壁が交差する柱部をプレキャスト部材とすることで、場所打ちコンクリート及び使用型枠を極力削減し、作業の省力化、施工時の安全性の向上を図るものである。

これにより、今まで足場上で鉄筋の組立を熟練労働者が行っていたことに対し、平地（または工場）で鉄筋組立を行うことができ、熟練作業員の減少が見込まれる。また、足場上での作業も減少する。

5.2.2 構造の検討

構造については、以下の考え方を基本としている。

- ・ 隔壁は版厚を従来の RC ケーソン部材と同程度として、

一枚の自重を10t/枚以下となるような打ち継ぎ高さとする事で、施工性の向上を図る。

- ・柱部は、隔壁と同様に部材を単一化することにより施工性の向上を図る。
- ・底版及び側壁は、従来どおり現場打ちコンクリートとする。

プレキャストケーソン概略図を図-5.2.1に示す。

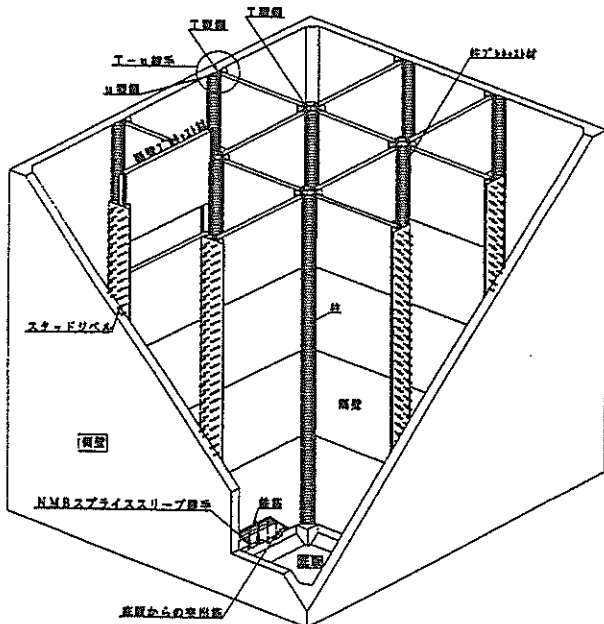


図-5.2.1 プレキャストケーソン概略図

5.2.3 プレキャスト部材の設計

プレキャスト部材（隔壁・柱部）の構造及び施工に関しては、配筋及び使用材料の検討で対処できるため特に課題となる項目はないが、構造上の課題となるのはプレキャスト部材の継手部である。

各継手箇所を要約すると「隔壁-側壁」及び「隔壁-柱部」は同じ構造とすることができ、「隔壁-底版」及び「柱部-底版」も同形状となることから、課題となる継手部は、「隔壁-側壁・柱部」と「隔壁・柱部-底版」及び「隔壁-隔壁」の計3箇所であると考えられる。ここで、「隔壁-隔壁」については、プレキャスト部材に段差をつけることによりせん断キーの役目をもたせることで対処できるため、実証試験において検討する継手部は「隔壁-側壁・柱部」と「隔壁・柱部-底版」である。

a) 隔壁-側壁・柱部

本継手箇所作用する外力としては、施工時の水位差による曲げモーメント、拔出し力、完成時の波圧による曲げモーメント、1/3洗掘時の曲げモーメントがある。

継手部を施工上から見ると、本箇所は水平方向の継手

となる。省力化施工の観点から、プレキャスト（隔壁）の組立方法は落とし込み式とし、高強度無収縮モルタルで固定する。この方式は構造上、鉄筋継手指針⁽¹⁾でのA級～C級の強度を有するものと考えられるが、設計に際しては継手部の支承条件（固定 or ヒンジ）を設定して側壁の設計を行わなければならない。

b) 隔壁・柱部-底版

本継手箇所作用する外力としては、拔出し力、地盤反力による曲げモーメント、1/3洗掘時の曲げモーメント、ケーソン進水時のジャッキアップがある。

継手構造を施工上から見ると、本箇所は鉛直方向の継手となる。プレキャスト（隔壁）の組立方法は落とし込み式とし、鉄筋個々をスリーブに挿入し高強度無収縮モルタルで固定する。この方式はNMBスプライススリーブと称し構造上、鉄筋継手指針でのA級の強度を有するもので、設計に際しては継手部の支承条件を固定と設定して底版の設計を行わなければならない。

5.2.4 プレキャスト部材施工手順

継手部は個々に違った接続が必要であるが、プレキャスト部材とその受け側の状態により、選定される継手構造が制約されることとなることから、ケーソン製作全体の施工性を考えたプレキャスト部材の施工手順を検討し、その後に継手構造の選定を行った。施工手順としては、今後の側壁のプレキャスト化等を考慮し、以下のとおりとした。

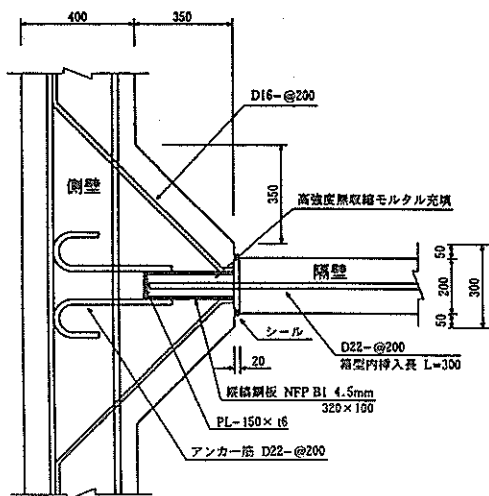
- ①底版製作
- ②側壁（外側）建込み
- ③側壁（内側）コンクリート打設
- ④柱部建込み
- ⑤隔壁建込み

5.2.5 継手構造

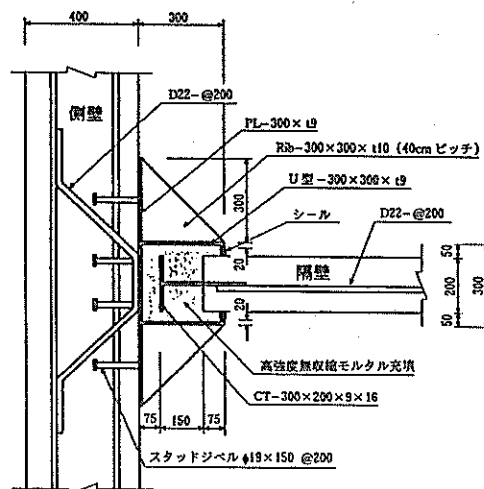
(1) 継手構造の決定

鉄筋コンクリート同士の継手方法は、一般的なものに加えて、プレキャストケーソンのために考えられた継手構造等様々なものがある。例えば、一般的なものとしては、部材相互の鉄筋を露出して重ね継手を行い、現場打ちコンクリートを打設する方法がある。また、鉄筋をスリーブに差し込んで無収縮モルタルなどの充填材を注入し鉄筋継手の一体化を図る方法等がある。

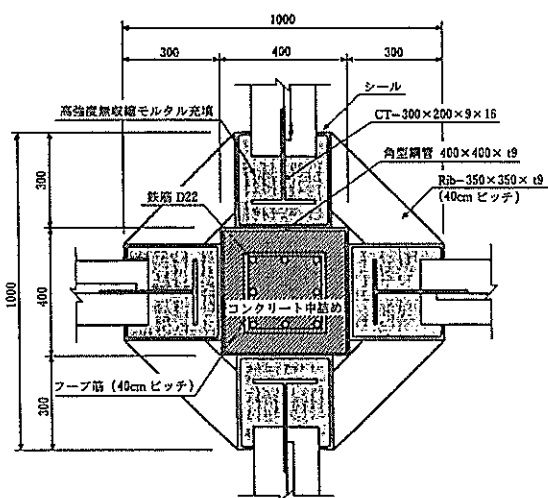
プレキャストケーソンの製作を目的とした継手工法は、現場打ちコンクリートを極力減らすため継手相互部材を鋼製としている。これにより部材製作の簡略化及び現場施工の省力化を図っている。模型載荷実験に用いた継手



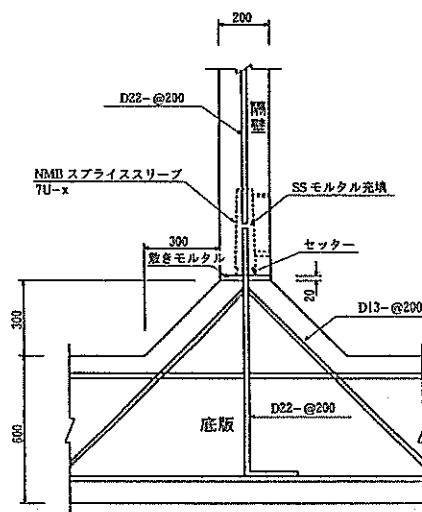
【隔壁-側壁・箱型スリーブ継手】



【隔壁-側壁・T-U継手】



【隔壁-柱部・T-U継手】



【隔壁-底版・NMB スプライススリーブ継手】

図-5.2.2 模型載荷実験に用いた継手構造

構造を図-5.2.2に示す。

この継手構造の「箱型スリーブ継手」及び「T-U 継手」は、今回新たに考案したもので「NMB スプライススリーブ継手」はビルの建築等で実績がある。

(2) 継手構造の設計

決定した継手構造について模型載荷実験を行い、その結果を基に構造の修正を行った。

その結果、プレキャストケーソンでは NMB スプライススリーブ継手と T-U 継手を採用することとした。箱型継手は設計抜け出し力以前に破壊したため、今回は不採用とした。しかし、この継手は施工性、経済性に優れるため構造変更し、再度模型載荷実験を実施し、適用の可否を決定することとした。

a) 模型載荷実験の結果

① NMB スプライススリーブ継手

引張試験において設計抜け出し力に対し、底版挿入筋が許容応力度を超えた。

② T-U 継手

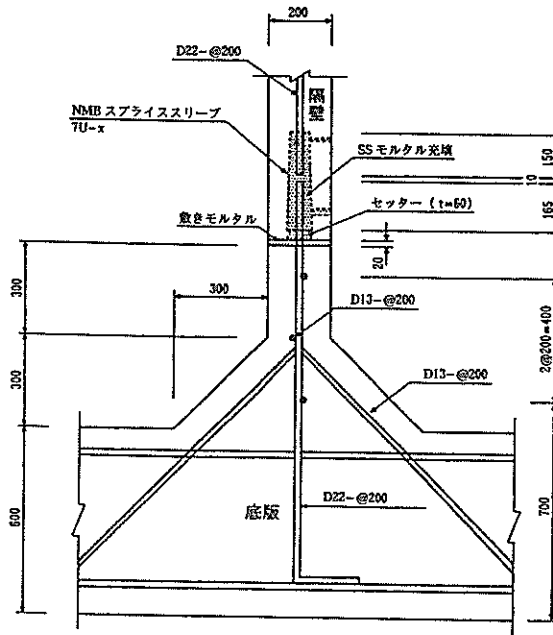
引張試験において設計抜け出し力に対し、U 型钢、スタッドジベル、隔壁内鉄筋が許容応力度を超えた。

③箱型継手

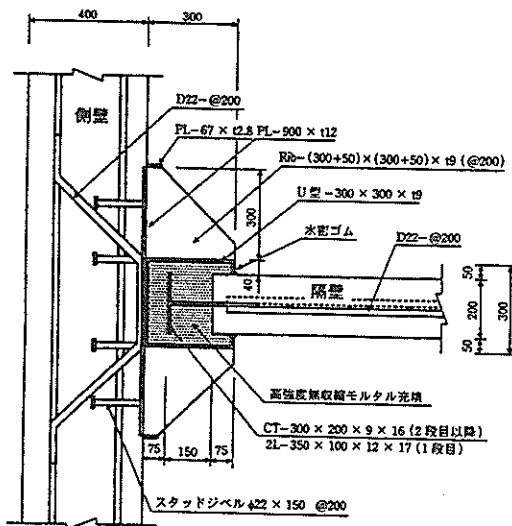
引張試験において設計抜け出し力以前に、箱と注入モルタルの付着が切れて、鉄筋が抜け出した。

b) 構造修正

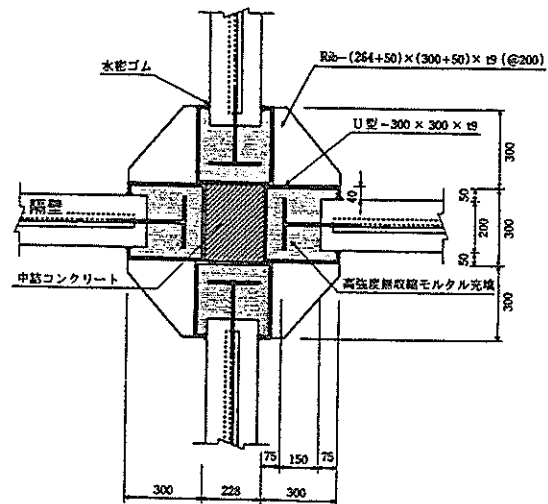
実験による発生応力やクラック発生の観察結果を踏ま



【隔壁-底版・NMB スプライススリーブ継手】



【隔壁-側壁・T-U継手】



【隔壁-柱部・T-U継手】

図-5.2.3 修正した継手構造

えて、各継手について以下のとおり構造を修正した。図-5.2.3に修正した継手構造を示す。

① NMB スプライススリーブ継手

- ・継手箇所をを30cm上に移動した。
- ・場所打ち部分に配力筋 (D13-3本) を千鳥に配筋した。

② T-U継手のU部分

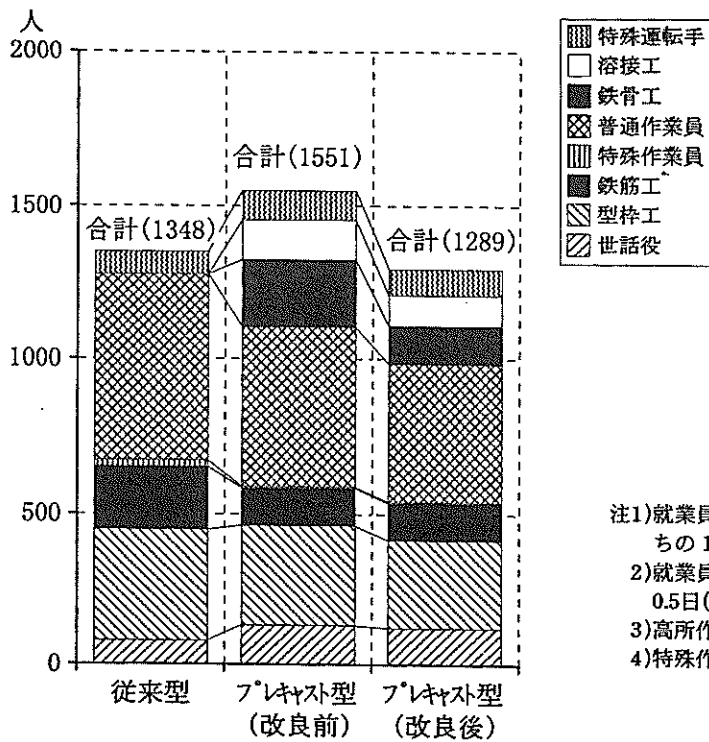
- ・リブプレートの形状を変更し、かつ間隔を40cm

から20cmに変更した。

- ・リブプレートとU型鋼の接続のため、ベースプレート (t12) を追加した。
- ・スタッドジベルの間隔を40cm から20cm に変更し、かつ取付位置を U 型鋼側面軸心と一致させた。
- ・U型鋼の開口寸法を24cm から22cmに変更した。

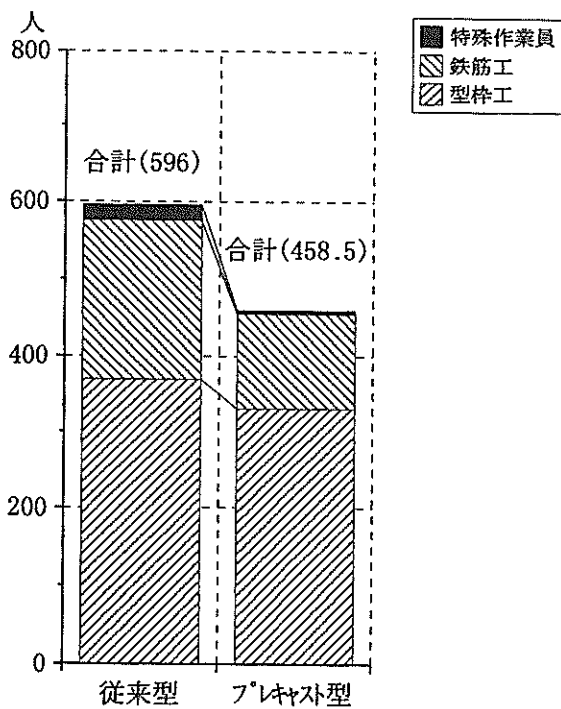
③ T-U継手のT部分及び隔壁 (プレキャスト部材)

- ・1段目の CT 型鋼を不等辺山形鋼 (350×100

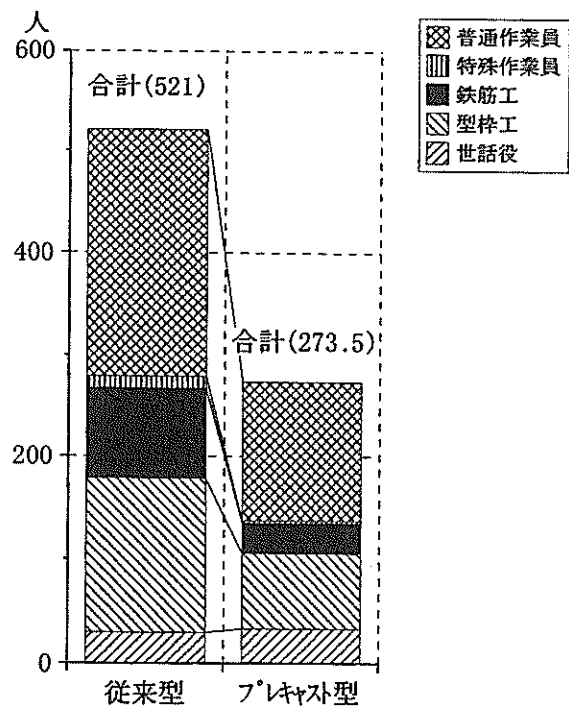


- 注1)従業員数のうち従来型は2函同時製作しているが、そのうちの1函目の数値とした。
 2)従業員数は従来型、プレキャスト型とも、1.0日=8.0hとし、0.5日(=4.0h)単位とした。
 3)高所作業とは、3段目以上をいう。
 4)特殊作業員は、コンクリート打設のみに従事する。

(a)延就業員数



(b)熟練労務者就業員数



(c)高所作業就業員数

図-5.2.4 従業員数調査結果

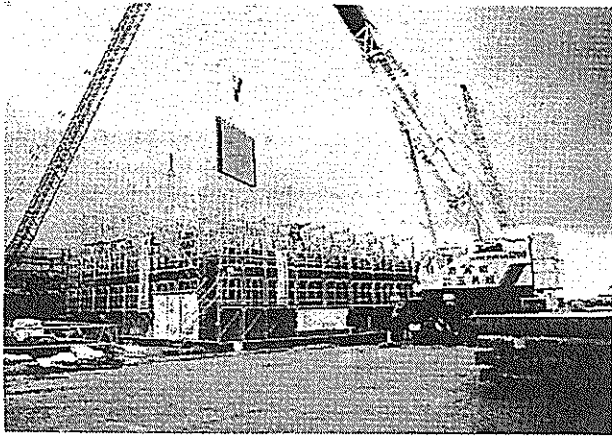


写真-5.2.1 プレキャストケーソン製作状況

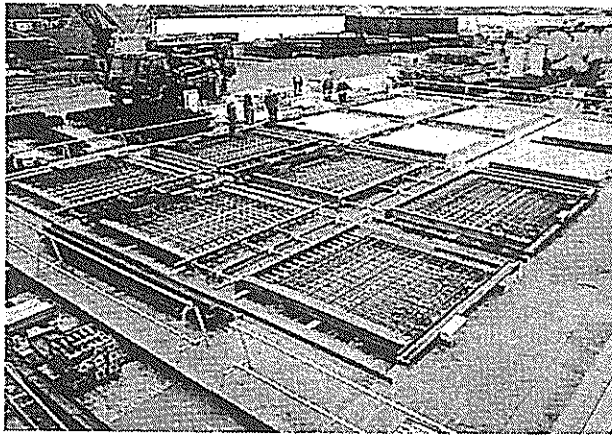


写真-5.2.2 隔壁（プレキャスト部材）製作状況

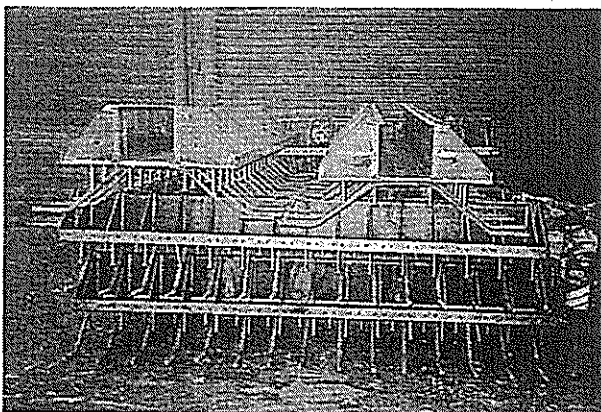


写真-5.2.3 隔壁-側壁
T-U（U部分）工場製作完成状況

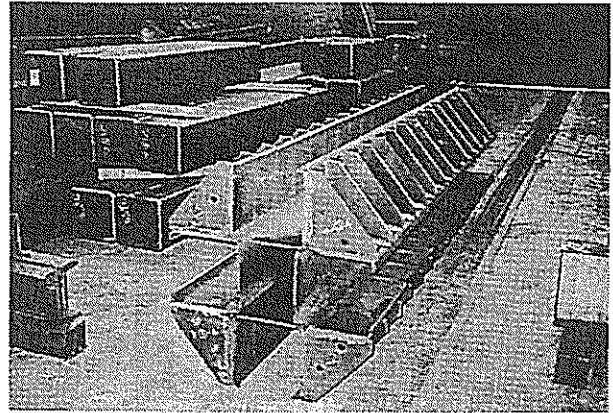


写真-5.2.4 隔壁-柱部・
T-U（U部分）工場製作完成状況

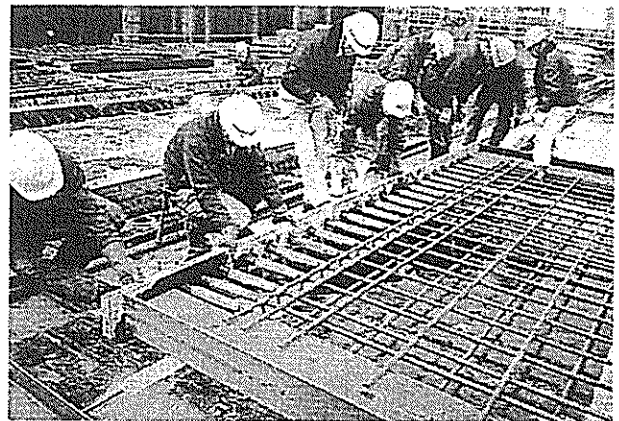


写真-5.2.4 隔壁-底板
NMBスプライススリーブ継手設置状況

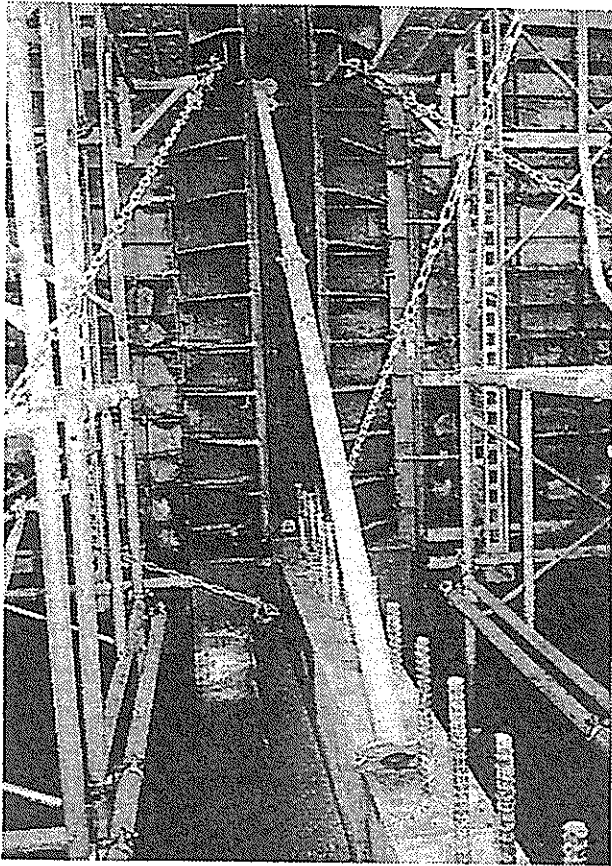


写真-5.2.6 隔壁-側壁
T-U継手 (U部分) 設置状況

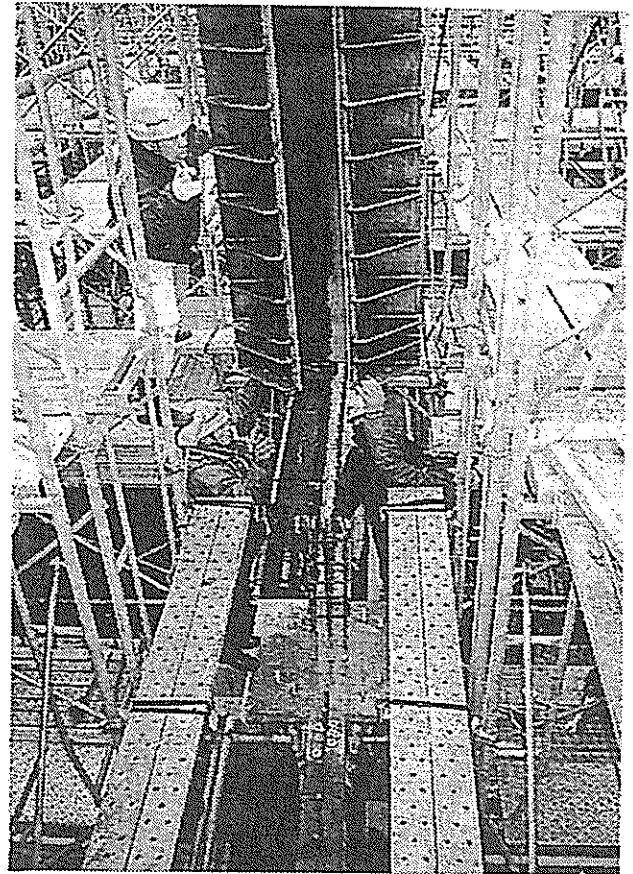


写真-5.2.6 隔壁-側壁
T-U継手 (U部分) 設置状況

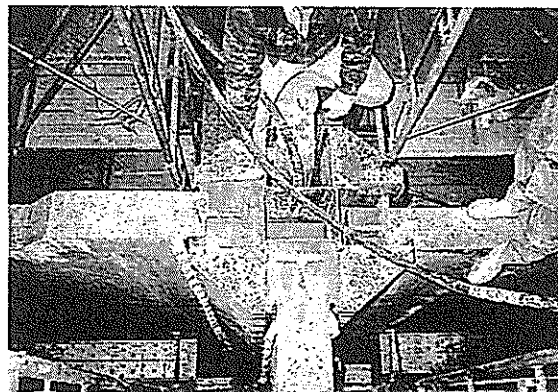


写真-5.2.8 隔壁-柱部
T-U継手モルタル充填状況

×12×17) 2個を溶接したものに変更した。

- ・補強筋 (D22-2本) を追加し、横筋を千鳥に配筋した。

④箱型継手

- ・縦縞鋼板とプレートで製作した箱を、角型鋼管 (150×350×12) に変更した。
- ・J型鉄筋をスタッドジベルに変更した。

5.2.6 省力化の評価

酒田港において製作したプレキャストケーソン1函を対象に就業員数調査を実施し、従来の RC ケーソンとプレキャストケーソンの製作に従事した延就業員数、熟練労務者の就業員数、高所作業就業員数について比較した。就業員数調査結果を図-5.2.4に示す。

延就業員数については、就業員数全体で見ると、プレキャストケーソンは、従来の RC ケーソンよりも増加している。これについては、施工法の改善と構造改良を行うことで、全体の就業員数を減少させることができる。

熟練労務者 (型枠工、鉄筋工、特殊作業員) 就業員数及び高所作業就業員数については、工種の増加により世話役は増加したが、それ以外の職種では就業員数は減少

し、全体としても減少している。この結果は、当初の目標である、熟練作業の低減を達成したことのあらわれである。

以上の結果より、プレキャストケーソンは、省力化の観点から見た場合、非常に有望であると言える。

5.2.7 今後の課題

(1) 継手の設計法

模型載荷実験、疲労実験、現地水張・浮揚試験、施工性、経済性等を考慮した設計法を確立する必要がある。

(2) 継手の腐食

ケーソン内は中詰砂と海水で満たされ、かつ蓋コンクリートで密閉されるため、継手の腐食についてどのように考慮し、対策するかを決定する必要がある。

(3) 側壁のプレキャスト化

今回のプレキャストケーソン構造開発において、隔壁のプレキャスト化に目途がついた。さらに省力化を図るためには側壁についてもプレキャスト化する必要がある。

5.3 パネルシステムケーソン

5.3.1 パネルシステムケーソンの概要

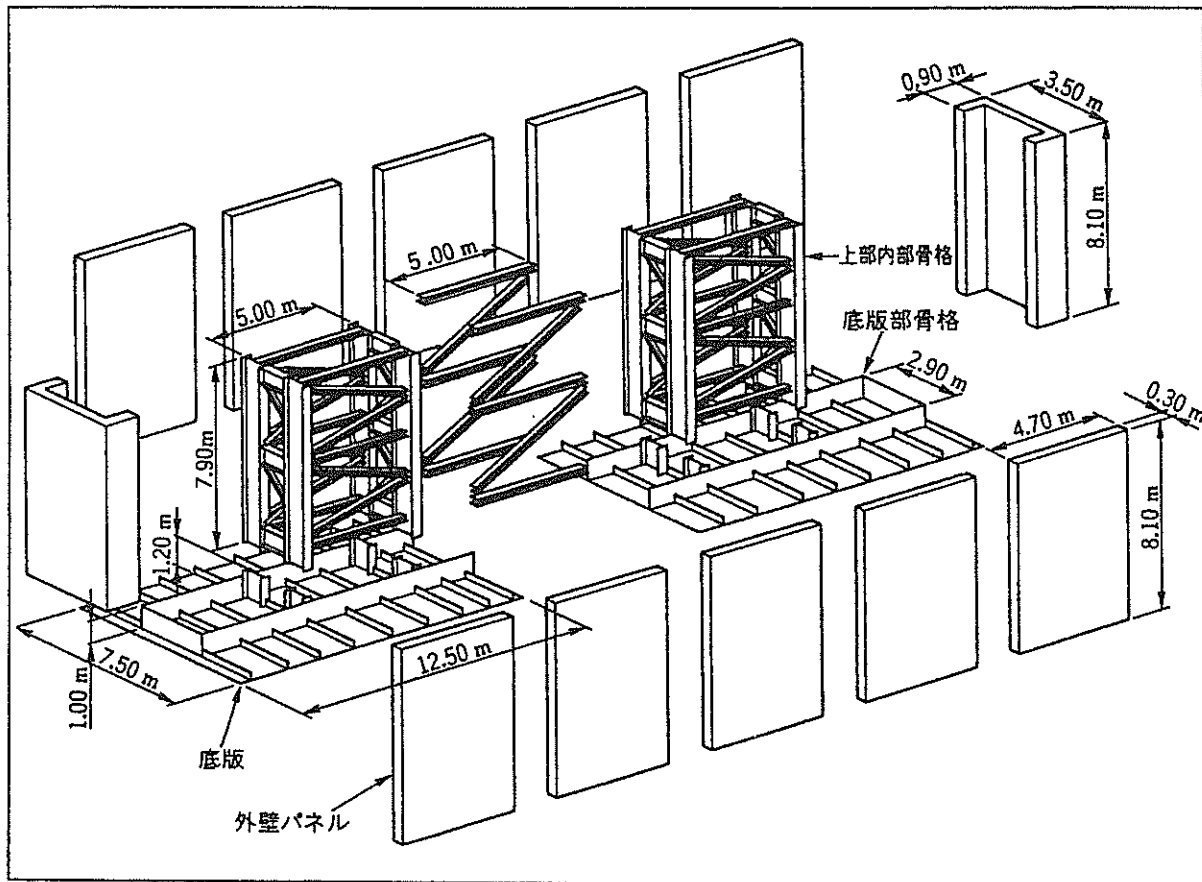


図-5.3.1 部材分割図

パネルシステムケーソンは、ケーソンを鋼版とコンクリートの合成版である外壁パネル、鉄骨による内部骨格、鋼殻とコンクリートの合成構造の底版に分割し、各部材を工場製作して現場まで輸送し、組み立て及びフーチングの施工を行って製作するものである。図-5.3.1にパネルシステムケーソンの部材分割図を示す。

こうして完成したパネルシステムケーソンは、従来のRCケーソンに比べ、

- ・合成版を用いたために部材厚を薄くでき、軽量かつ高じん性、高強度構造体である
- ・底版は鋼殻構造であるために、ロングフーチングを容易に設定できる
- ・1函あたり長さ方向サイズを大きくとれる

図-5.3.2にパネルシステムケーソンの完成イメージを示す。

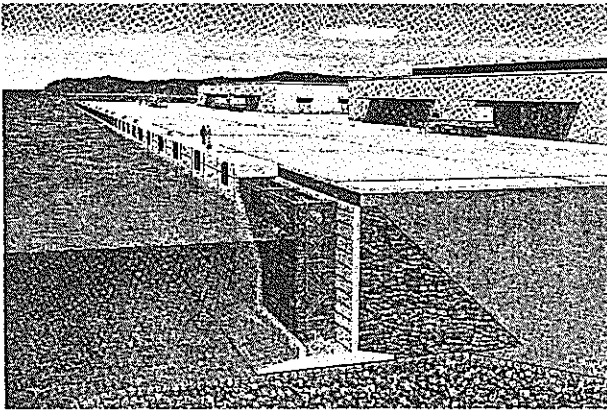


図-5.3.2 完成イメージ

また、各部材を工場で作製するため、現場には大がかりなケーソンヤードが必要なく、小さな矩体ならば部材の陸上輸送も可能である。

5.3.2 構造の検討

(1) 構造の輪郭

a) 部材のサイズと取り回し

陸上輸送を前提としてパネルサイズを小さくした場合、接合部が増え、経済性が悪くなることが予想される。実証函では海上輸送によることを前提とし、できるだけ接合部が少なくなるよう部材を大型とし、コストの低減を図っている。1号函では部材重量をおおむね30t以内として設計した。

輸送用台船間の荷役方法は、工場からは工場のクレーンを用い、ヤードへは100t吊りクローラクレーンを想定した。したがって、工場は臨海部の係船岸を持つものと想定している。また、係船岸や護岸の積載荷重、活荷

重をチェックし、クレーンの自重や部材の重量から安全性を検討する必要がある。

完成したパネルシステムケーソンはフローティングクレーンにより吊り上げ、設置位置まで曳航する。したがって、フローティングクレーンの使用可能な域内にて組み立てられるようにヤードを設定することが経済的となる。

b) 接合方式と応力解析

当初は、溶接接合を想定したが、現場溶接には熟練した技術が必要であること、溶接工種の費用がかさむことから、溶接がなるべく少なくなる接合方式を開発することとした。また、その他の方式についても複雑な施工とならないことに注意した。

パネルシステムケーソンは、パネルと内部骨格の複合構造であり、さらにパネル自身が合成版である。外力に対しては、内部骨格のみならず外壁パネルによる合成効果が期待できるために、これらを一体化した応力解析が必要となった。同時に、接合形式による応力伝達の違いから接合部のモデル化が課題となった。

(2) 部材と内部骨格方式の選定

a) 外壁部材

プレキャスト版としての実績等を考慮して、RC、PC、合成版部材の中から選定した。品質の面からは各方式ともに有意な差を見出すことはできない。輸送面では、RC及びPC部材は欠けが生じやすい。ただし補修施工について判断基準が確立しており、十分な処置が可能である。

RC部材の場合、部材厚を縮小して軽量化することを想定すると、鉄筋径の増大からひび割れが発生しやすくなるため、部材自体を細分化せざるを得ない。したがって、現場組立の接合部が増加する。PC及び合成版についてはこれらについての問題はない。

また、施工現場近くの固定工場の実態を調査したところ、合成版の固定工場が多く、部品の入手の面からは合成版が有利であった。

b) 内部骨格方式

内部骨格は壁式と架構式が検討された。図-5.3.3に内部骨格方式を示す。現場での施工について検討すると、架構式ならば複雑な接合部について工場で作製されるため、外壁パネルとの点的な接合のみで済むのに対して、壁式ではこれが線的な接合となり、接合部延長がどうしても長くなる。このため、架構式が適当であると判断された。

また、このとき部材としてはRC、PC、スチールが考えられるが、輸送に伴う欠けがなく、最も軽量化が可能

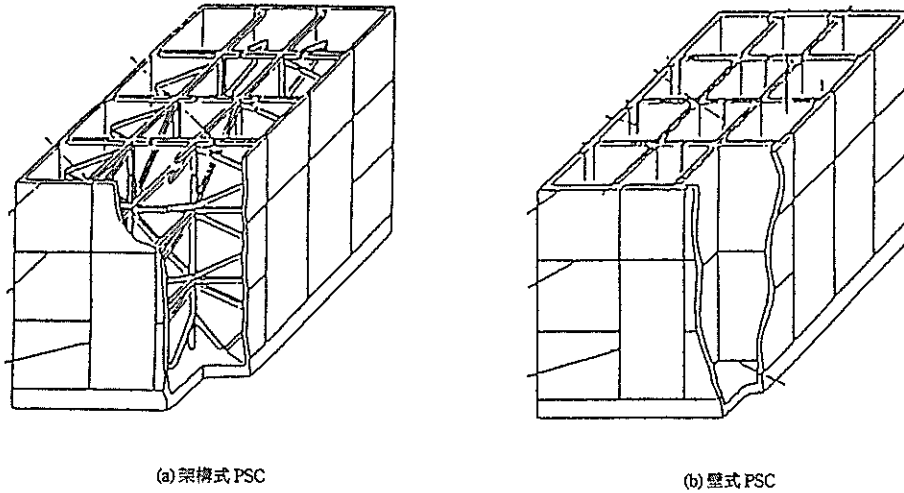


図-5.3.3 内部骨格方式

なスチールが適していると判断された。

(3) 部材接合方法の検討

a) 接合方法の選択

建築分野においては以下の方法が主となっている。

- ・コンクリートまたはモルタル
- ・溶接
- ・プレストレス
- ・接着剤
- ・継手等機械的接合

パネルシステムケーソンについては、これらのうち、溶接と継手による接合方式を採用している。なお以下の材料は対象としなかった。

①コンクリートまたはモルタル

これらによって直接応力を伝達する方式であるが、現場での型枠の使用等省力化に疑問が残る。ただし、部材の精度を吸収できる利点等もあり、省力化に資する可能性もあった。

②プレストレス

現場での煩雑なオペレーティングと、現場施工管理の厳しさが要求され、省力化の観点からは好ましくない。

③接着剤

水中での耐久性等が一般的には認知されていない。

b) 継ぎ目の構造について

外壁パネルの継ぎ手構造については、構造強度上の安全性以外にも内部の鋼部材の防食の問題を考慮する必要がある。すなわち、ケーソン据え付け後は海水交換による酸素の供給を断つために、継ぎ目部等を完全止水構造にする必要がある。

これを満たすために、外壁合成版の鋼版を溶接接合、

鉄筋はスリーブ内モルタル充填継ぎ手、目地部は無収縮、膨張性コンクリートを充填する、といった方法を検討した。

接合部は縦目地も横目地もスリーブ継ぎ手である。縦目地では内部骨格の H 型鋼とパネルの鋼版を突き合わせ溶接している。図-5.3.4に接合部の構造を示す。

これらの目地構造については、引き抜き試験、曲げ試験、せん断試験等の実験によりその強度について確認した。

c) 継ぎ目部のコンクリート

継ぎ目においては、前述の通り施工後のひび割れなどは極力避ける必要がある。また、流動性についてもある程度の機能を持つ必要がある。したがって、この条件を満たすコンクリートの配合試験を行い、確認した。

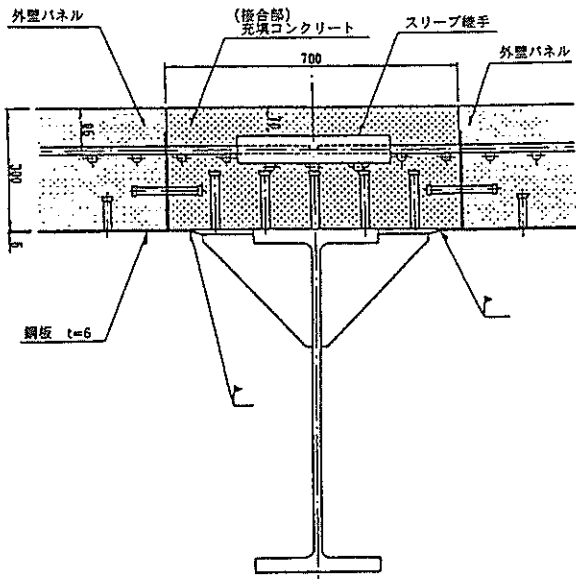
流動性が良好であり、材料分離や沈下がなく、高強度が得られる無収縮コンクリートを 1 号函で適用した。

(4) 構造計算の手法について

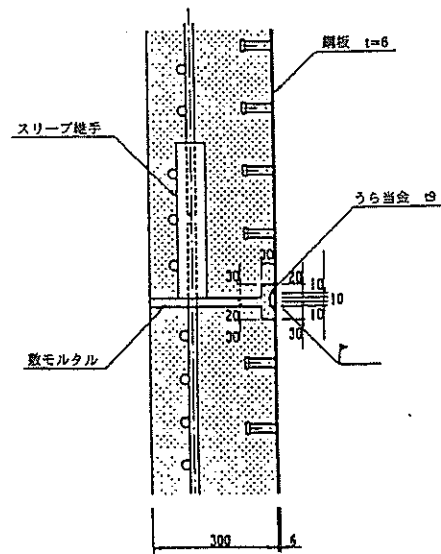
a) 全体構造

従来の RC ケーソンでは、隔壁の剛性が大きいため、断面力の算定は接合部を剛体とした設計法で行っている。しかし、パネルシステムケーソンでは内部骨格の全体剛性に寄与する程度が不明確である。また、外壁パネルと内部骨格は比較的大きな H 型鋼を用いて梁と接合しており、構造的な挙動が不明である。

これらの構造全体の挙動を見るために、3次元構造解析が必要である。このとき、どのようなモデル化が最適となるか問題となる。実証函の設計では、図-5.3.5に示すように、実構造での斜め部材等を省略し、簡略化している。

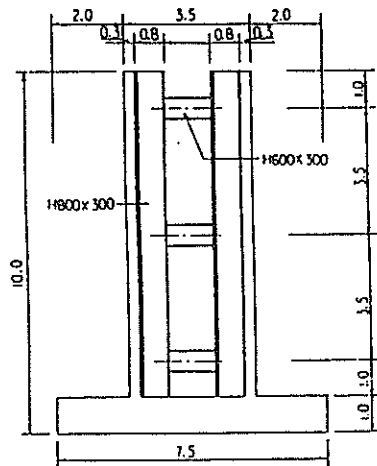


縦目地接合構造

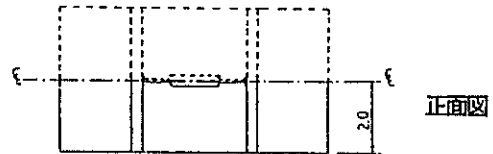


横目地接合構造

図-5.3.4 接合部基本構造



側面図



正面図

図-5.3.5 モデルの簡略化

b) 部材のモデル化

パネルシステムケーソンを構成する各部材については、次のようにモデル化した。

- ・鉛直パネル：シェル要素
- ・底版：シェル要素
- ・フーチング：シェル要素
- ・内部骨格：ビーム要素

c) 接合部のモデル化

前述の3次元解析において要素のモデル化を行ったとき、本来は複雑な形状の部材を単純なものとして取り扱うことから、各部材の結合方法に関して位置的な配慮を

したモデルとする。

具体的には基本モデルに対して三次元解析用に図-5.3.6に示す4種類のモデルを検討した。

- 基本：H型鋼のほぼ忠実なモデル
- ①多点拘束結合モデル
- ②剛ビーム結合モデル
- ③2次元モデルに準じたモデル
- ④H型鋼せん断変形挙動を考慮したモデル

これらの比較検討の結果、②の剛ビーム結合モデルがパネルの断面力の再現性が良いと判断された。

d) 実証函のモデル及び応力試験結果

| 結合方法 | モデル化 | モデル名称 |
|----------------------|--|-------|
| H型鋼をある程度忠実にモデル化する方法 | | 基本モデル |
| 多点拘束による結合 | <p>$(u_1, v_1) \sim (u_2, v_2)$ $(u_2, v_2) \sim (u_3, v_3)$ の関係式</p> | モデル1 |
| 剛ビームによる結合 | | モデル2 |
| 2次元のモデル化に準じる方法 | | モデル3 |
| H型鋼のせん断変形挙動を考慮したモデル化 | <p>A-B間: 鉛直方向以外の自由度を多点拘束 A-C間: 鉛直方向自由度を多点拘束 B-D間: 鉛直方向自由度を多点拘束</p> | モデル4 |

図-5.3.6 接合部のモデル化

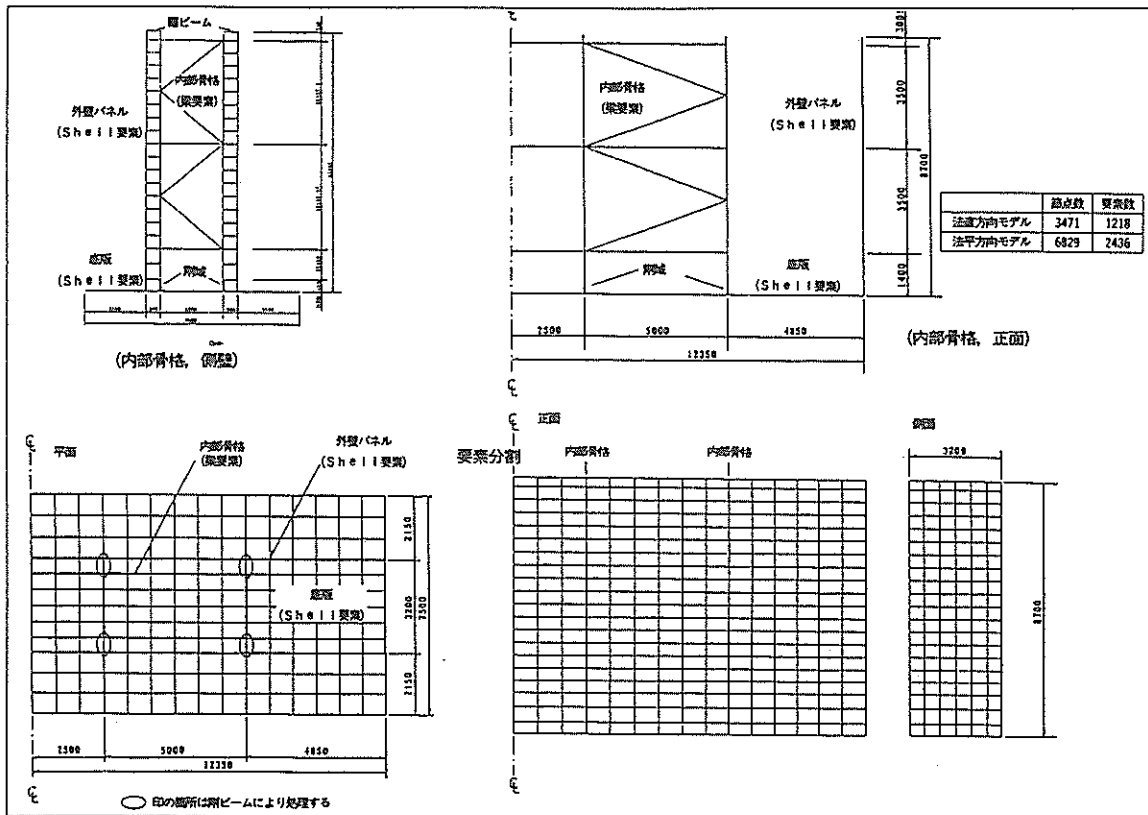


図-5.3.7 3次元解析モデル

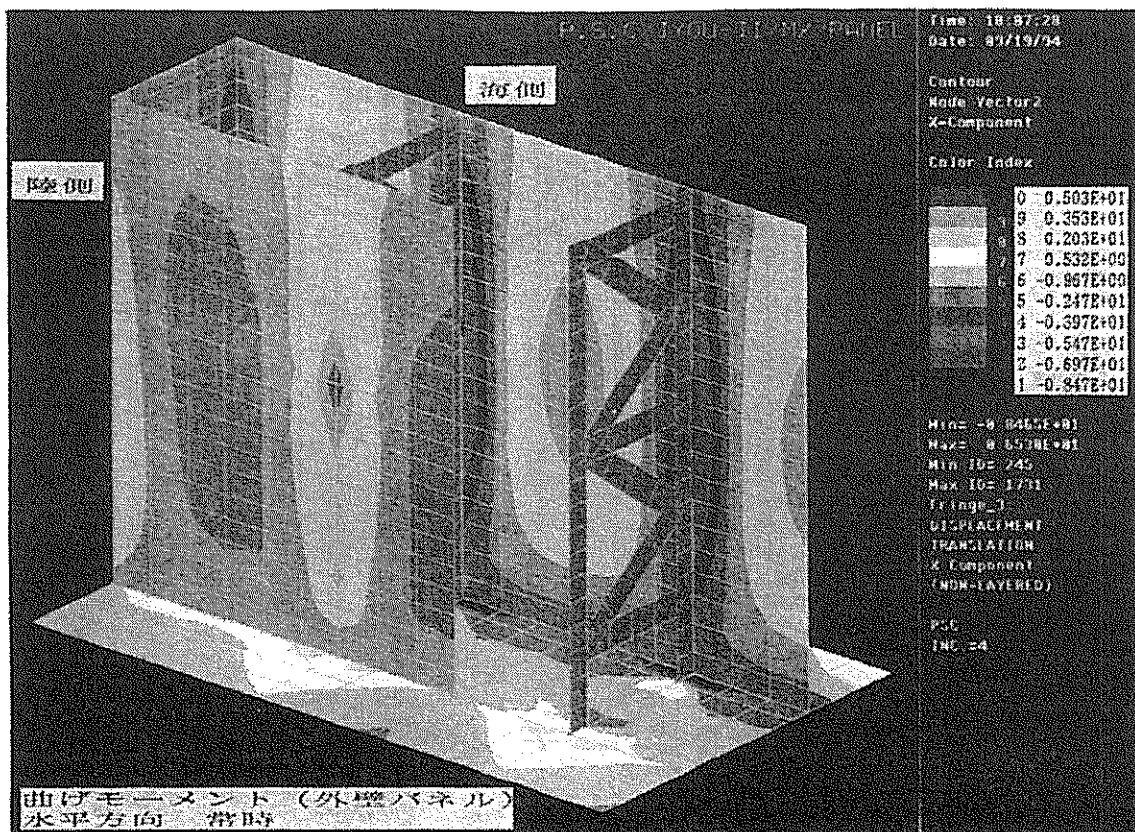


図-5.3.8 解析結果の例

図-5.3.7~5.3.8に今回制作した実証函のモデルを示す。これによる応力解析の結果と、平成7年度の実証函による水張り試験、中詰め土応力試験の結果について比較検討を行った。

水張り試験はケーソンのほぼ天端付近まで注水する過酷な試験であったが、これによる応力及びびずみの異常値は認められなかった。また、ケーソン据え付け時に中詰め土による応力測定を行った。これらの結果を総合し、委員会において検討した結果、設計についての妥当性が認められた。図-5.3.9に応力測定値と設計値の比較例

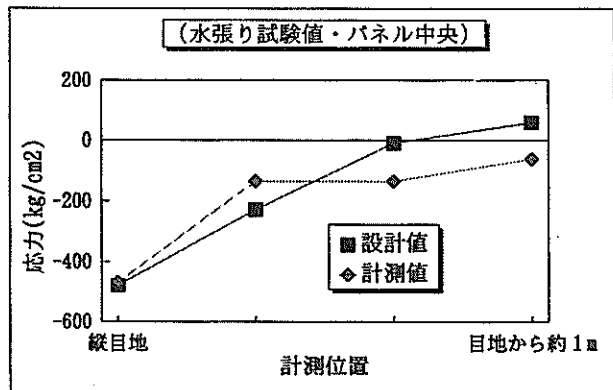


図-5.3.9 応力測定値と設計値の比較例

を示す。

e) ケーソン中詰めの動土圧解析

パネルシステムケーソンでは隔壁がなく、架構式としたため、ケーソン内壁に作用する土圧は、ケーソン内全長に対するものとなり、ケーソン内の長さによっては相当大きな地震土圧が作用することが考えられる。そこで、有限要素法による地震応答解析を行った。また、この結果について、模型実験による検証を行った。

5.3.3 施工法の検討

(1) 工場製作工

工場製作工手順を図-5.3.10に示す。

a) 底版部鋼殻ブロック

鋼材を野書・切断し、鋼板の原版プレートを作成する。これを板継し、ねじれや反りの防止のためのフラットバーやアングルを溶接して補強し、強固な版とする。これに下部支柱を取り付け、さらにコンクリートとの一体化のために、スタッドジベルを打設する。反転し、摩擦増大用アスファルトマットを打設し、完成する。

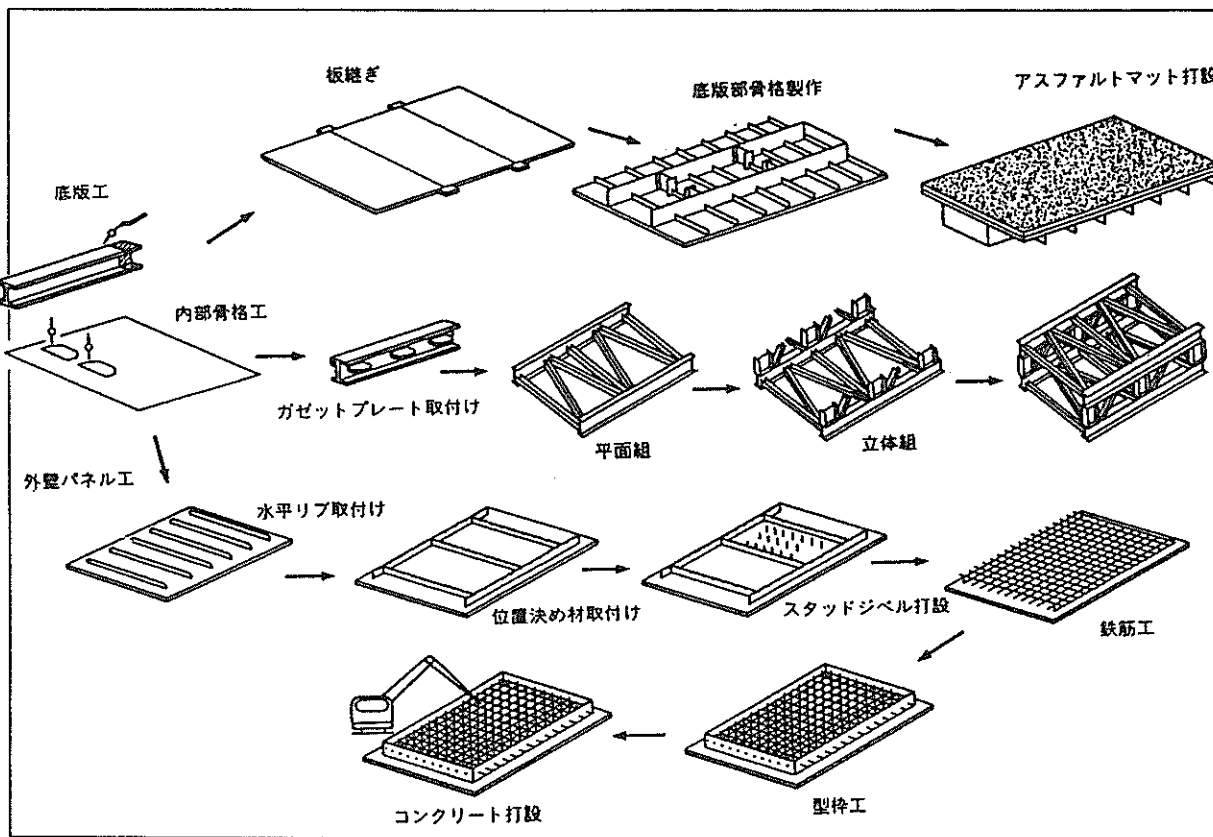


図-5.3.10 工場製作工手順

b) 内部骨格ブロック

鋼材を野書・切断し、所用の鉄骨部材とする。主柱にガゼットプレートを取り付け、パネル加工（平面組）、ブロック加工（立体組）を溶接工により行い、完成する。

c) 外壁パネル

鋼材を野書・切断し、所用の鋼板部材とする。これに水平リブを取り付け、準備工とする。反転し、水平・鉛直鉄筋、位置決め材を取り付ける。スタッドジベルを打設し、配筋を行い、型枠を組み立てた後、コンクリートを打設して完成する。

(2) 各部材の輸送

各部材は、工場クレーンあるいはクローラクレーンによって台船に出荷され、現場まで海上輸送で運ばれる。固定工場では一般的に能力の高いクレーンが使用できるために、効率がよいと考えられる。

部材は製作ヤードの岸壁からクローラクレーンによって荷役され、ヤードにストックされる。クレーンはこの後の組み立て作業に使用される。

(3) 現場組立工

現場組立工手順を図-5.3.11に示す。

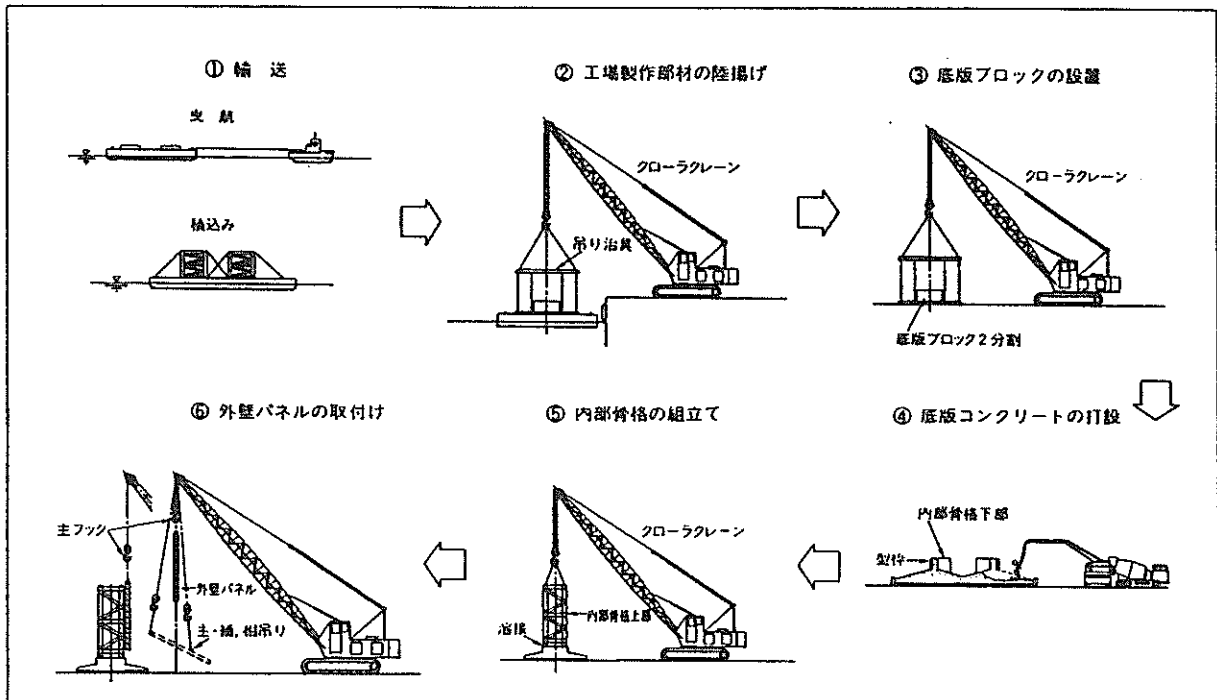


図-5.3.11 現場組立工手順

a) ケーソン製作ヤードの準備

ケーソンの製作には大型のクローラクレーンが必要なので、重量に耐えられるように現場の作業位置を決める。砂等により現場の不陸を修正し、不等沈下防止用の敷鉄板を敷設する。

b) 底版接合工

クローラクレーンによって陸揚げ、水切りされた底版相互を突合溶接し、部材温度が低下したらアスファルトを注入して一体化させる。位置決め微調整はレバーブロックにより行う。

c) 上部内部骨格組立工

クローラクレーンで上部骨格をつり上げ、チェーンブロック等で微調整しながら底版の下部骨格上に設置

する。添接板をボルトで仮締めし、養生ワイヤーで固定する。全体の法線と垂直を確認した後突合溶接により下部骨格と上部骨格を接合する。

水平材はトラッククレーンでつり上げ、高所作業車2台で所定の位置に誘導し、ボルト締めした後ガゼットプレートに溶接する。

d) 底版コンクリート工

底版鉄筋組立を行う際に注意すべき点は、パネルとの接合部となる縦筋のピッチ精度を高く保つことである。このため、ガイドプレートを用意し、これに沿わせて縦筋を立て込む。次に仮設足場を設置し、型枠を組み立て、底版コンクリートを打設する。

e) 外壁パネル組立工

①概要

ケーソン両端部の妻側パネルを組み立てるための仮設骨格を組み上げる。ケーソン内部の作業には仮設足場を組み上げる。パネルは中央部から張り付け、最後に両端のパネルを取り付ける。スキンプレートはケーソン外側に組み上げた足場を利用し、溶接する。

②横目地処理工

底版上に敷きモルタルを敷き、外壁パネルをクローラクレーンで吊り上げ、パネル内のスリーブに底版上の縦鉄筋が入るようにパネルを静かにおろす。外壁パネルの内側鋼板を底版側鋼板に溶接するとともにスリーブ継手にグラウト材を注入して接合する。横目地処理工を図-5.3.12に示す。

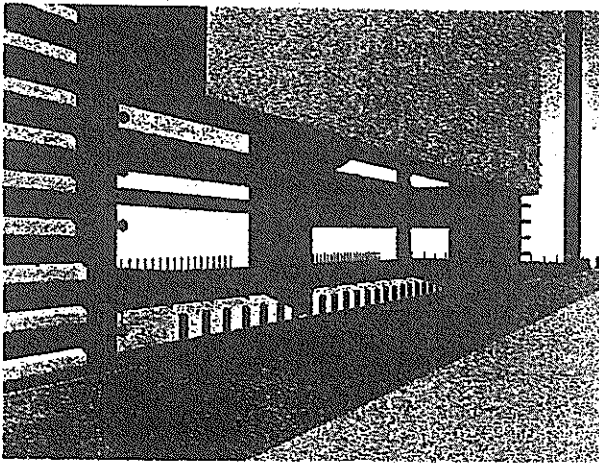


図-5.3.12 横目地処理

③縦目地処理工

外壁パネル設置時にパネル片側の横鉄筋にスリーブを挿入しておき、隣接するパネルを設置後スリーブを中央に引き出して鉄筋と接続し、グラウト材を注入する。次に縦鉄筋を組み立て、内部骨格に設置している注入管から目地コンクリートを打設する。縦目地処理工を図-5.3.13に示す。

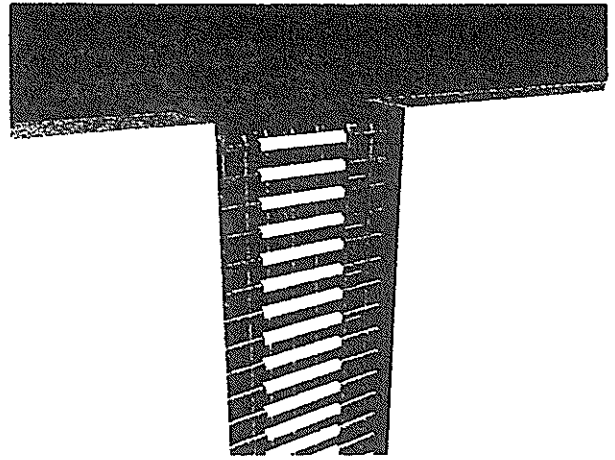


図-5.3.13 縦目地処理

5.3.4 省力化の評価

(1) 就業員数の比較

図-5.3.14のグラフで、パネルシステムケーソンと従来のRCケーソンの就業員数を比較した。パネルシステムケーソンについては実績による数値であり、従来のRCケーソンは、同等の規模(延長25m分を通常の方法で製作したと仮定)を持つケーソンについての推測値である。

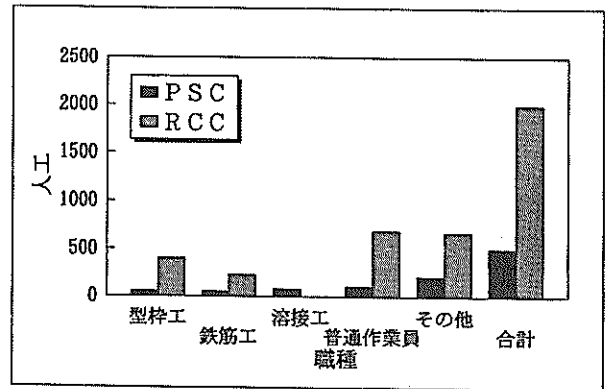


図-6.3.14 現場作業の省力化効果

これによると、現場作業について、全体では従来のRCケーソンの約4分の1の就業員数で製作できることが実証された。

工場製作をあわせた就業員数についても、全体で従来のRCケーソンに比べて10%以上削減されたことが実証された。

(2) 工期の比較

現場の工期についても同様に比較した結果、従来のRCケーソンに比べてパネルシステムケーソンは約20%の工期削減効果が認められた。

5.3.5 今後の課題

パネルシステムケーソンの最大の課題は、矩体自体の製作費が大きいことである。したがって、単純に現存のケーソンの代替としては使用できない。

しかし、図-5.3.15に示すパネルシステムケーソン実証函では、長所として以下のことが確認されている。

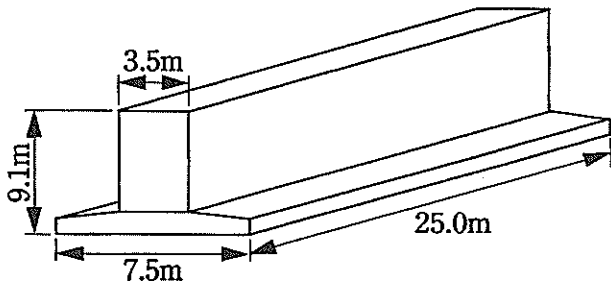


図-5.3.15 実証函の外形寸法

- ①構造的特徴からフーチングを長く張り出せ（実証函では2m）、地盤反力の軽減に有効
- ②矩体自体が軽量となり、軟弱地盤上での施工に有効
- ③地盤改良の範囲を狭く設定でき、経済的
- ④急場のヤードを用意することで組立が可能
- ⑤長大化が容易（実証函は幅7.5m、長さ25m）

こういった特徴から、どのような条件で適用性が出てくるかについては、ある程度の指針が示せるものと考えている。特に軟弱な地盤上で連続して施工する場合には経済的である可能性がある。

なお、横須賀港新港地区防波堤（波除 -5.5m）の施工はパネルシステムケーソンを用いて行った。ケーソンヤードとしては現場近傍の護岸背後の未利用地を使用しており、平成6年度で実証函1函の製作が終わり、平成7年度では据え付けを行うとともに各部の応力の測定を行った。平成8年度には1号函の反省を踏まえ、設計の改良、施工の見直しを行った2号函を製作した。第二港湾建設

局におけるパネルシステムケーソンの開発は平成8年度で終了しており、平成9年度からは、コスト削減に有利であると思われる、PC 接合を利用し、鉄板と鉄骨を無くしたPCブロックケーソンを開発中である。

5.4 鉄筋ユニット工法によるケーソン製作

5.4.1 鉄筋ユニット工法の概要

(1) 鉄筋ユニット工法の概念

鉄筋ユニット工法は、鉄筋を予めいくつかのユニットに分割して、地上で先に組み立てておいて、コンクリート打設後に組立済みのユニットをクレーンで吊って建て込みを行った後ユニット同士を結束して鉄筋組立を行うものである。

鉄筋ユニット工法の施工概念図を図-5.4.1に、施工フローを図-5.4.2に示す。

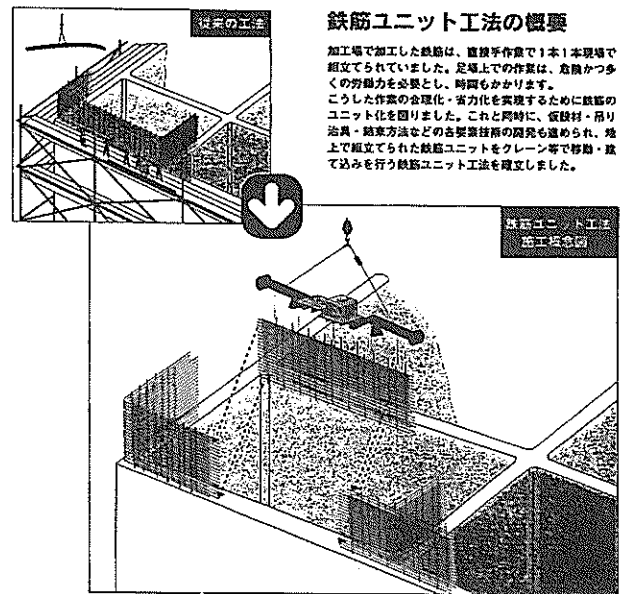


図-5.4.1 鉄筋ユニット工法施工概念図

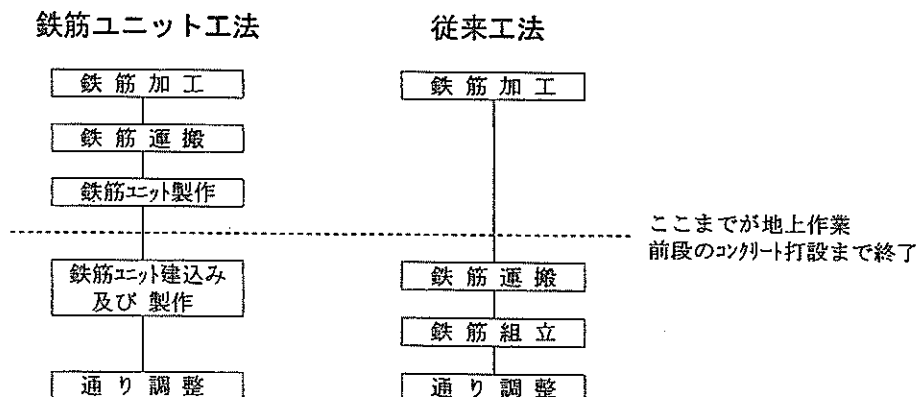


図-5.4.2 鉄筋ユニット工法施工フロー

(2) 鉄筋ユニット

省力化の程度を高めるためには鉄筋のユニット化率を高くする必要があります。しかし、ユニット化率を高くしていくと次のような問題が生じる。

- ①鉄筋ユニットを大型化すると吊り作業や建て付け作業が難しくなる。
- ②鉄筋ユニットを小型化するとユニットの個数が多くなり、継手箇所が増加する。
- ③立体ユニット同士の接続は困難になる。

鉄筋ユニットは鉄筋量、鉄筋径、施工のし易さなどを考慮する必要があります。立体ユニットとしてはコーナー部を構成する L 型ユニット、隔壁交差部を構成する十字型ユニット、側壁と隔壁の交差部を構成する T 型ユニットが考えられる。平面ユニットは大型及び小型のユニットが考えられる。各ユニットの特徴を表-5.4.1に、代表的な配置場所を図-5.4.3に示す。

表-5.4.1 各ユニットの特徴

| | 名称 | 長所 | 短所 |
|--------|---------|---------------------|---------------------------|
| 立体ユニット | L型ユニット | ・剛性が高いため変形が少なく扱いやすい | ・配筋がダブル配筋となっているので製作が面倒 |
| | 十字型ユニット | | ・製作が面倒 ・筋交い筋等の補強が必要 |
| | T型ユニット | | ・製作が面倒 ・筋交い筋等の補強が必要 |
| 平面ユニット | 大型 | ・製作しやすい | ・ユニット端部の変形が大きい |
| | 小型 | ・製作しやすい | ・小型ユニットの個数が増えると継手の箇所が増加する |

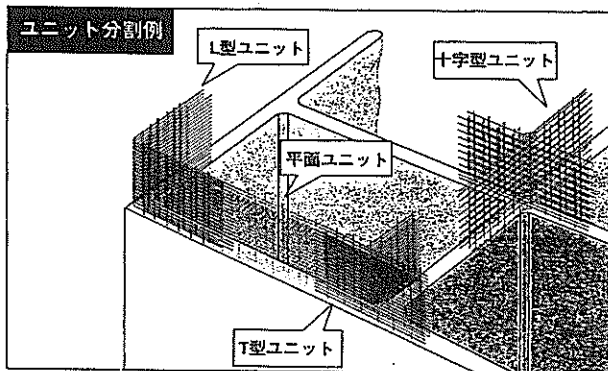


図-5.4.3 ユニットの配置場所

(3) 配筋方法

鉄筋ユニット工法は現行の設計法にのっとっているため通常と異なるものはないが、ユニットに分割する都合上、あるいは組立、施工のし易さの点から多少の変更を

行う場合がある。主な変更点を以下に述べる。

①継手（横筋）

イモ継手を避けるために継手箇所が1つの断面に集中しないように図-5.4.4に示すように隔壁を挟んだ反曲点で継ぐようにする必要がある。

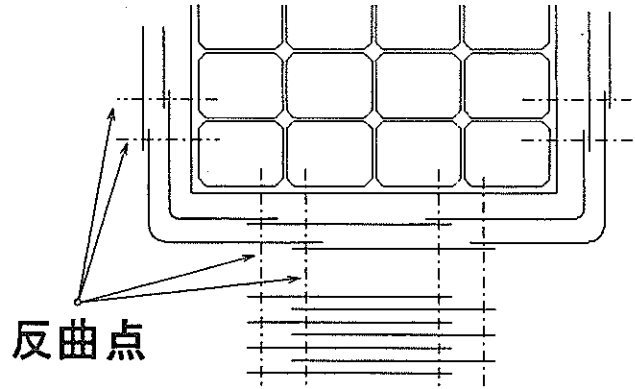


図-5.4.4 横筋の継手

②継手（縦筋）

現行の設計法では縦方向の継手はコンクリートの打ち継ぎ面に継手が集中しないように継手長さ分だけ縦方向に継手を交互にずらして配筋している。鉄筋ユニットの製作は鉄筋を立てて行うので、図-5.4.5に示すように縦筋の下端を延長して揃える方が組立作業が行いやすいため、変更する必要がある。

縦筋の下端を揃える

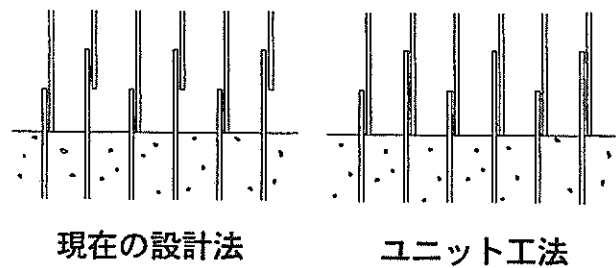


図-5.4.5 横筋の継手

③隔壁

現行の設計法では隔壁部分の横筋は縦筋に対して千鳥に配筋されるが、鉄筋ユニットの製作方法を考慮すると図-5.4.6に示すように横筋が縦筋の片側に配置されていることが望ましい。この場合には応力照査を行って、強度上問題がないことを確認する必要がある。

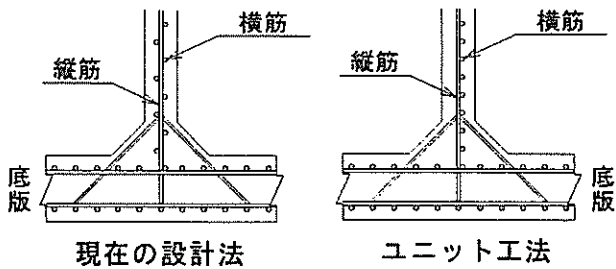


図-5.4.6 隔壁部の配筋

(4) 鉄筋ユニットの建て込み

地上で製作された鉄筋ユニットはケーソン上まで吊り上げられ、所定の位置に建て込まれる。これまでの実験結果では、こうした作業を大型のジブクレーン等で行おうとすると位置の調整が難しく、円滑かつ安全な作業が行えない場合のあることがわかった。そのため鉄筋ユニットを吊るための専用の吊り装置による施工法の検討を行い、吊り装置に必要な機能として以下の機能を選定した。

- ①鉄筋ユニットの位置の微調整ができる。
- ②鉄筋ユニットの水平が保てる。
- ③鉄筋ユニットを吊った状態である程度の角度に傾けられる。
- ④鉄筋ユニットの回転を制御できる。
- ⑤鉄筋ユニットの横筋を掴んで吊り上げることができる。
- ⑥種々の形状・寸法のユニットに対応できる。

5.4.2 鉄筋ユニット工法によるケーソン製作工事の実施例

(1) 概要

鉄筋ユニット工法によるケーソン製作工事はこれまでに、京浜港、常陸那珂港、小名浜港において実施されている。各港ともケーソンの諸元や現場状況が異なるため、実施状況には差異が見られる。しかし、共通して見られる技術も多く、こうした点を整理することにより本工法を実用可能なものにしていく必要がある。本節では、これまでの実施状況の概要と得られた知見について述べる。

(2) 横浜港における施工状況

a) 概要

横浜港では平成6年度に製作された岸壁用ケーソンにおいて底版を除いた2~4層目についてすべての鉄筋をユニット化して鉄筋組立を行った。製作したのはL20.0×B16.0×H10.1m、重量約1570tのケーソンである。

b) 鉄筋ユニットの分割

鉄筋ユニットの形状としては先に述べたように平面、

L型、T型、十字型ユニットがある。しかし、今回製作したケーソンは配筋が比較的単純であること、製作ヤードが狭い等の理由から製作するユニットの種類を少なくする必要があった。そのために平面ユニットとL型ユニットで配筋することとした。各層のユニットへの分割方法を図-5.4.7に示す。各層は平面、L型ユニットあわせて36個のユニットに分割し、4隅のコーナー部にはL型ユニットを配置し、側壁及び隔壁は平面ユニットを配置している。製作したユニットの諸元を表-5.4.2に示す。

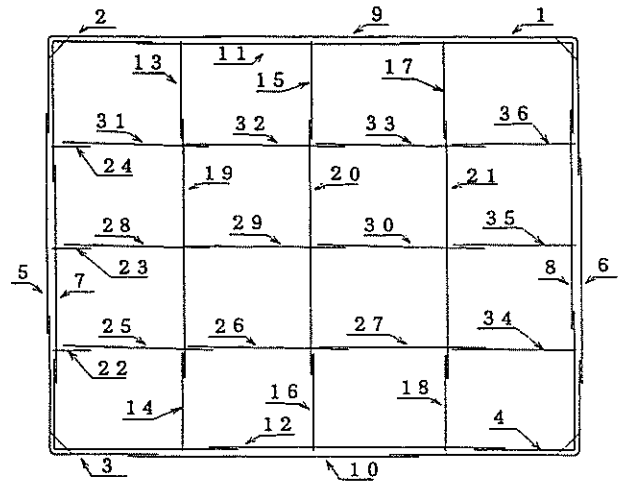


図-5.4.7 ユニットの分割

表-5.4.2 ユニットの諸元

| No. | ユニット名称 | 寸法(m) | 重量(t) |
|-------|--------|---------------|-------|
| 1~4 | L型ユニット | 4.95×3.0×3.95 | 1.3 |
| 5~8 | 平面ユニット | 9.9×3.0 | 0.3 |
| 9~12 | 平面ユニット | 12.3×3.0 | 0.4 |
| 13~18 | 平面ユニット | 3.9×3.0 | 0.2 |
| 19~21 | 平面ユニット | 10.5×3.0 | 0.6 |
| 22~24 | 平面ユニット | 1.7×3.0 | 0.1 |
| 25~33 | 平面ユニット | 6.1×3.0 | 0.3 |
| 34~36 | 平面ユニット | 4.84×3.0 | 0.2 |

c) 鉄筋ユニットの製作

鉄筋ユニットは地上で先組みされる。これまでの実験結果によると鉄筋を地上に並べて製作しようとする、作業者が腰をかがめての作業となり作業性が低下する。また、製作されたユニットは立てた状態で仮置きしないと広い仮置きスペースが必要となり、製作ヤードの効率的な利用ができない。そこで製作時の作業性の向上と仮置きスペースの効率化のために鉄筋ユニット製作架台によりユニット製作を行った。鉄筋ユニット製作架台と製作状況を図-5.4.8及び写真-5.4.1に示す。

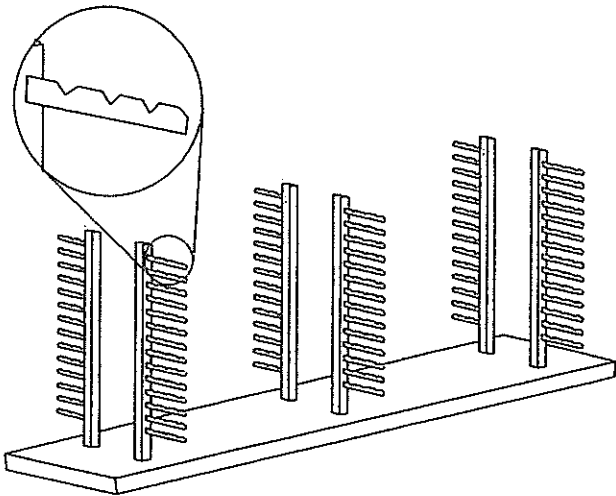


図-5.4.8 ユニット製作架台



写真-5.4.1 ユニット製作状況

d) 鉄筋ユニットの建て込み

鉄筋ユニットの建て込みには先に述べた機能を持つ吊り装置が必要であり、第二港湾建設局ではそうした機能を持つ鉄筋ユニット吊り装置の実験機を製作し、作業に使用した。

| | |
|--------|---------------------------------|
| 定格吊り荷重 | 1.3t |
| 上下調整 | 50cm 電動ホイストによる |
| 傾き調整 | 平面ユニット ± 4.5° 立体ユニット ± 13.5° |
| 旋回調整 | 電動ファンによる |
| 操作方法 | 無線による遠隔操作 |
| 動力 | 発動発電機 |

鉄筋ユニットの吊り上げ状況と建て込み状況を写真-5.4.2~5.4.3に示す。

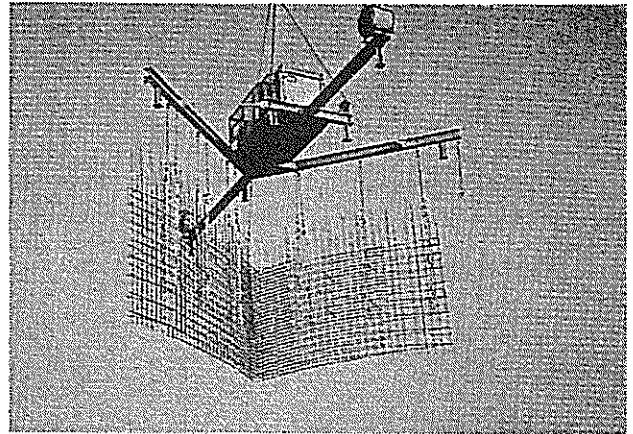


写真-5.4.2 ユニット吊り下げ状況

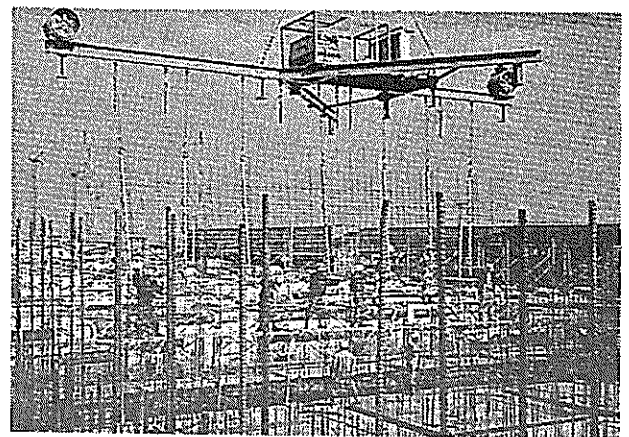


写真-5.4.3 ユニット建て込み状況

(3) 常陸那珂港における施工状況

a) 概要

常陸那珂港では平成6年度から防波堤用ケーソンの隔壁部分について鉄筋ユニットにより鉄筋組立を行ってきており、これまでに60函以上のケーソンを製作してきている。製作しているケーソンは L29.85m × B24.95m × H22.0m、重量約7500tである。

b) 鉄筋ユニットの分割

このケーソンの製作にあたっては2~7層目の法線平行方向の隔壁についてユニット化している。隔壁はダブル配筋となっており、図-5.4.9に示すユニット1は2枚の平面ユニットを幅止め筋により一体化した立体ユニットであり、ユニット2はシングルとして組み立てた平面ユニットである。

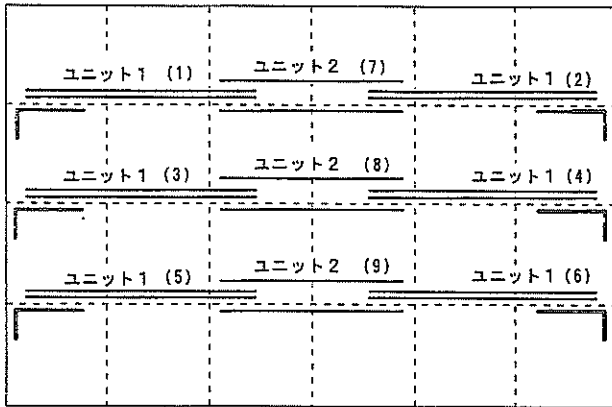


図-5.4.9 ユニットの分割

c) ユニットの製作

常陸那珂港においてもユニットの製作に際してはユニット製作架台を用いて製作を行っている。ユニット製作状況を写真-5.4.4に示す。

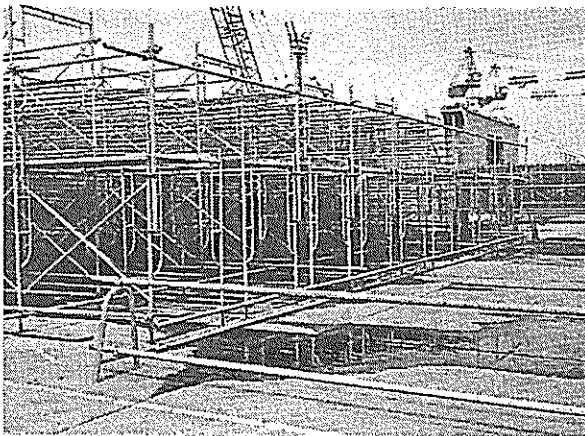


写真-5.4.4 ユニットの製作状況

d) ユニットの建て込み

ユニットの建て込み手順を図-5.4.10に、建て込み状況を写真-5.4.5に示す。また、ユニットの建て込みには吊り装置を使用している。

(4) 小名浜港における施工状況

a) 概要

小名浜港では平成7年度から岸壁用ケーソンの側壁及び隔壁部分について鉄筋ユニットによる鉄筋組立を行っている。製作しているケーソンは L20.0m × B13.5m × H13.8m、重量約1900tである。

b) 鉄筋ユニットの分割

本製作工事においてはユニットの分割は2つのタイプを実施した。ひとつは隔壁部のみをユニット化したもの(Aタイプ)で、もうひとつは隔壁部に加えて法線方向

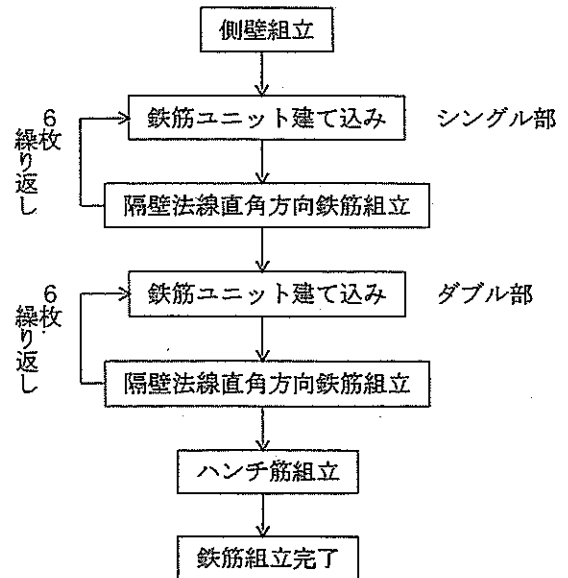


図-5.4.10 ユニット建て込み手順

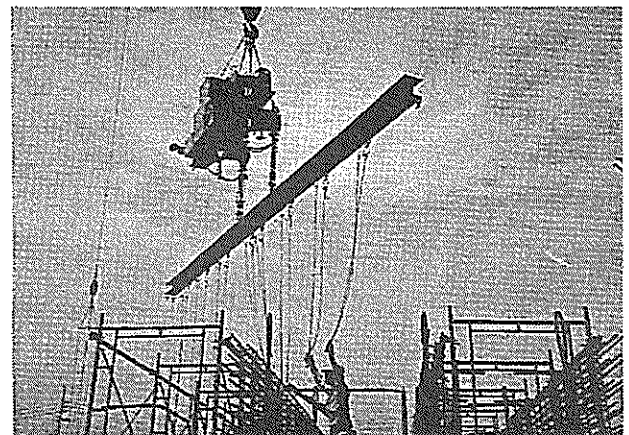


写真-5.4.5 ユニット建て込み状況

の側壁部についてもユニット化したもの(Bタイプ)である。A、Bタイプ共に平面ユニットを用いて組立を行っている。ユニット化の状況を図-5.4.11に示す。

c) ユニットの製作

小名浜港においてもユニット製作架台を用いてユニットの製作を行っている。ユニットの製作状況を写真-5.4.6に示す。

d) ユニットの建て込み

ユニットの建て込み状況を写真-5.4.7に示す。本工事においてもユニットの建て込みには吊り装置を使用している。

5.4.3 鉄筋ユニット工法による施工の効率化

(1) 作業工数

横浜港における作業工数(鉄筋1tあたり)の結果を

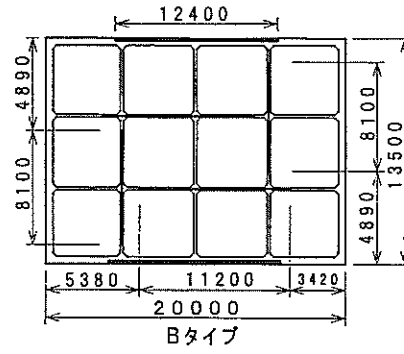
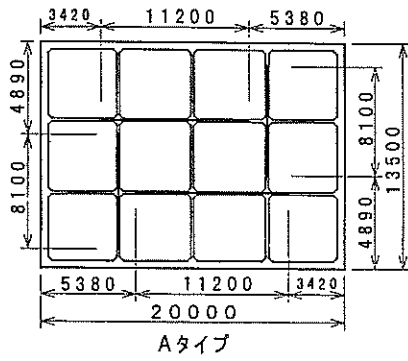


図-5.4.11 ユニット化の状況



写真-5.4.6 ユニット製作状況

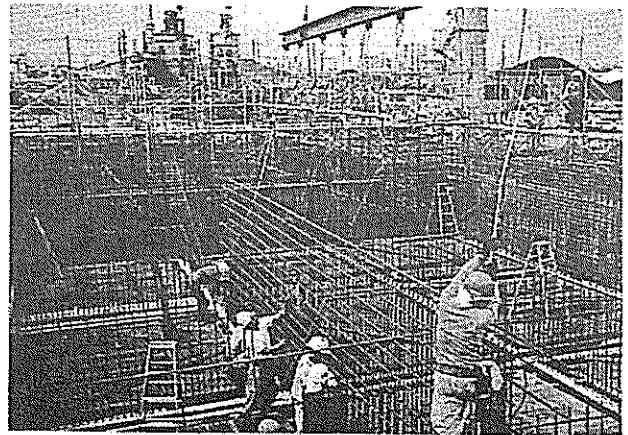


写真-5.4.7 ユニット建て込み状況

表-5.4.3 作業工数の変化 (人・日)

| | 2層目 | 3層目 | 4層目 |
|------------|------|------|------|
| 製作に要した工数 | 2.83 | 2.28 | 1.46 |
| 建て込みに要した工数 | 3.30 | 1.95 | 1.96 |
| 合計 | 6.13 | 4.23 | 3.42 |

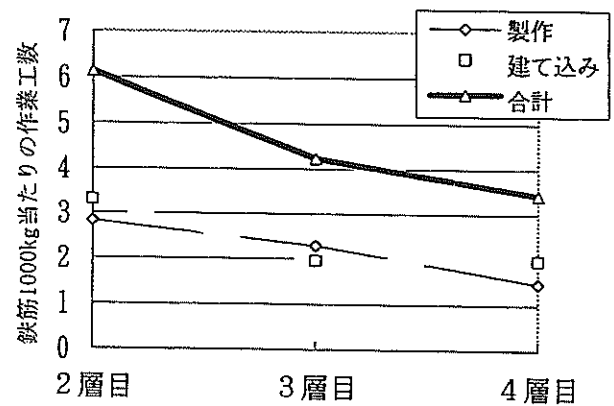


図-5.4.12 作業工数の変化

表-5.4.4 ユニット製作時間

| | ユニット化の範囲 | ユニット製作枚数 | 延べ製作時間 | 1枚当たりの製作時間 |
|-------|----------|----------|----------|------------|
| ケーソンA | 側壁及び隔壁 | 24 | 20.0 人・日 | 0.83 人・日 |
| // B | 隔壁 | 16 | 13.6 // | 0.85 // |
| // C | // | 16 | 14.4 // | 0.90 // |

表-5.4.5 ユニット化率の違いによる作業工数の比較 (単位: 人・日)

| | | 横浜港 ケーソン | 小名浜港 ケーソン A | 小名浜港 ケーソン B | 小名浜港 ケーソン C |
|-----------|------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| ユニット化の部分 | | 100%ユニット化 | 側壁・隔壁をユニット化 | 隔壁をユニット化 | 隔壁をユニット化 |
| ユニット化率(%) | | 100% | 21.9% | 15.0% | 15.0% |
| 組立 | 鉄筋加工 | 0.55 | 0.34 | 0.35 | 0.35 |
| | 運搬 | 0.23 | 0.11 | 0.13 | 0.13 |
| | 組立 | 1.54 | 1.04 | 1.00 | 1.09 |
| | 合計 | 2.32 | 1.49 | 1.48 | 1.57 |
| 建て込み | 建て込み | 1.38 | 1.43 | 1.02 | 0.67 |
| | 調整 | 1.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 合計 | 2.54 | 1.43 | 1.02 | 0.67 |
| その他 | | 0.18 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 合計 | | 5.04 | 2.95 | 2.51 | 2.25 |

(注)その他の工数は鉄筋ユニットの組立・建て込み以外の作業で、鉄筋搬入や後片付けを示す。

表-5.4.3及び図-5.4.12に示す。ここでの作業工数は、作業時間と人数を掛けた延べ作業時間の集計値を8時間で除した値としている。作業工数は2層目から3層目、4層目と作業が進むにつれて減少(作業効率が上昇)している。この原因としては以下のことが考えられる。

- ・本工法が初めてのものであり当初は戸惑いがあったが、作業の進捗に伴い慣れてきたこと
- ・吊り装置等の扱いに慣れてきたこと

こうした傾向は常陸那珂港、小名浜港での製作工事においても同様に見られている。

(2) ユニット製作時間

小名浜港での工事においてユニットの製作に要した時間を表-5.4.4に示す。

小名浜港で製作しているのはすべて平面ユニットであるため、ユニット1枚当たりの製作時間にはほとんど差が見られない。

(3) ユニット化率の違いによる作業工数の差

横浜港及び小名浜港のケーソン製作におけるユニット化率と作業工数(鉄筋1tあたり)の関係を表-5.4.5に示す。ここでのユニット化率は、鉄筋ユニットを用いない底版を除く各層(各ロット)の鉄筋の合計重量に対する鉄筋ユニットの重量の割合を表している。

これらの工数については現場条件等に差があるために単純に比較することはできないが、ユニット化する範囲が小さくなるにつれて工数も小さくなっている。ユニット化率と作業工数の関係は、ケーソンの諸元やユニットの分割方法、あるいはケーソンヤードの条件等によって異なってくるものであり、この表に示す関係が常に成り立つものとは限らない。鉄筋ユニット工法を採用する場合は、これらの点を考慮して最も効率的と考えられる部位を選定することが重要である。

(4) 施工性及び安全性

施工性及び安全性については現場作業からのヒアリング等により以下の意見を得た。

- ・鉄筋ユニットは鉛直方向及び水平方向鉄筋の配筋ピッチ、保持機構を有した製作架台上で製作するため、鉄筋ユニット群を安全かつ精度よく効率的に製作できる。
- ・ケーソン上での型枠足場設置、コンクリート打設等と並行して鉄筋ユニットの製作が可能のため、作業の標準化、効率化が図られる。
- ・鉄筋ユニットの採用により、ケーソン上での鉄筋の仮置き量が減少し、作業スペースが広くとれ作業効率及び安全性が向上する。
- ・専用吊り具を使用して鉄筋ユニットの建て込みを行うため、効率よく安全に施工できる。
- ・ケーソン上での手組み配筋量の減少により、苦渋作業が減少する。

なお、鉄筋ユニット工法の従来型ケーソンとの就業員数比較を、平成10年度に詳細に行うこととしている。

5.5 自動昇降型枠技術の開発

5.5.1 各種コンクリート構造物の構築における自動型枠工法

(1) 既存工法の事例

各種コンクリート構造物の構築における自動型枠工法としてはダム、橋脚、煙突、サイロ、ケーソン等において事例がある。ダム工事に関しては建設大臣が建設技術評価規程に基づいて公募した研究課題「ダム用自動式型枠の開発」に対応して多数の開発事例が見られている。また、橋梁、煙突、サイロ等の高層コンクリート構造物についても、施工の安全性等の向上を図るために型枠作業の省力化技術が進められているところである。

ケーソン製作工事における型枠技術については、高層コンクリート構造物の構築において実用化された技術を応用した開発が行われている。これらの主な開発事例を表-5.5.1に示す。

(2) 既存工法における技術課題

前述したようにダム、サイロ、煙突、橋梁等の分野では機械化された型枠装置が開発され、実用化されたものがある。しかし、鉄筋コンクリート構造物の形状や寸法は多種多様であり、それらの型枠技術に汎用性を持たせることには技術的に限界がある。

ケーソン製作においては、型枠の剥離や自動上昇等の要素技術としての機械化型枠工法が開発されているが、鉄筋工等の他工種との整合性を含めてのシステム開発は完成していない。また、ケーソン製作における型枠は一般に規模が大きく重量も重いなど、解決すべき技術課題

は多く残されている。

(3) 自動型枠装置に要求される機能

自動型枠装置を開発するにあたり、要求される機能としては以下のことが考えられる。

- ①外型枠は、一体または4分割で昇降できる。
- ②型枠面の清掃及び剥離剤の塗布作業が不要である。
- ③型枠の位置決めが容易にできる。
- ④コンクリート打設作業の省力化が図られる。
- ⑤作業足場が外型枠とともに昇降できる。
- ⑥天蓋設備を有する。
- ⑦鉄筋ユニットが取り扱える。
- ⑧天井クレーンを装備し、各作業に利用できる。
- ⑨天井クレーンによって資材の搬入・搬出ができる。
- ⑩安全対策が十分にとられている。
- ⑪型枠の組立・組外し作業時に足場が動揺しない。
- ⑫コンクリート養生中に型枠が動かない。

(4) 型枠装置の自動化の程度

型枠装置の自動化の基本的要件としては以下のことがあげられる。

- ①型枠をコンクリートから自動で離脱・上昇させ、再度固定できるもの。
- ②型枠材は離脱・上昇作業に支障のない軽量なもので、コンクリート打設作業等に耐え、かつ、組立精度が良好で出来形を満足するもの。
- ③型枠と仮設材（足場、手摺等）とは一体となったもので、離脱・上昇作業に支障のないもの。

5.5.2 開発の目標

ケーソン製作に適合した型枠技術の開発目標を図-5.5.1に示す。

5.5.3 自動型枠工法

(1) ケーソン製作工事に適した自動型枠工法の検討

既存の技術を踏まえてケーソン製作工事に適した自動型枠工法のアイディアを分類すると図-5.5.2のようになる。

上記①～④の方式について省力化、工期短縮、経済性等の点から検討を行い、⑧の方式が省力化率、ケーソンヤードへの適用性等の点で優れていることが明らかとなった。この方式のイメージを図-5.5.3に示す。

この方式はケーソンを囲むように配置した4本の支柱に反力を取って型枠を引き上げるもので、コンクリート打設・硬化後に型枠を上昇させる。なお、内型枠と外型枠は別々に上昇する。

この方式の特徴は表-5.5.2のとおりである。

表-5.5.1 既存の自動型枠工法

| 技術名称 | 技術概要 |
|------------------------|--|
| 従来のダム用型枠 | 片持梁式のスライドフォームで、メタルフォーム、横バタ、縦バタ及びボルト類から構成される。 |
| TN式フルオート クライミングフォーム | 上部フレーム及び下部フレームに対し、面板剥離調整装置、上昇装置、ロック装置等が有機的に結合しており、ダム工事に適用される。 |
| ターンアップ式 ダム用自動式型枠 | 回転ジャッキ、型枠剥離ジャッキ、パネル調整ジャッキ等からなる。 |
| S.P.U工法 | アンカーを支点として、足場と型枠を交互にチェーンブロックで引き上げるシステムであり、橋脚、擁壁、煙突、ダム等に適用される。 |
| スリップフォーム工法 | 足場と型枠が一体となったスリップフォームを油圧ジャッキにより連続的に上昇させるシステムであり、橋脚、煙突、サイロ等の高層コンクリート構造物に適用される。 |
| ケーソン内型枠 自動化システム | 上部型枠支持フレーム、下部支持フレーム、上昇装置、型枠伸縮装置等からなる。 |
| ケーソン用自己上昇式 足場型枠工法 | アンカーボルトに反力を取り、足場と型枠を交互にチェーンブロックで引き上げるシステム。 |

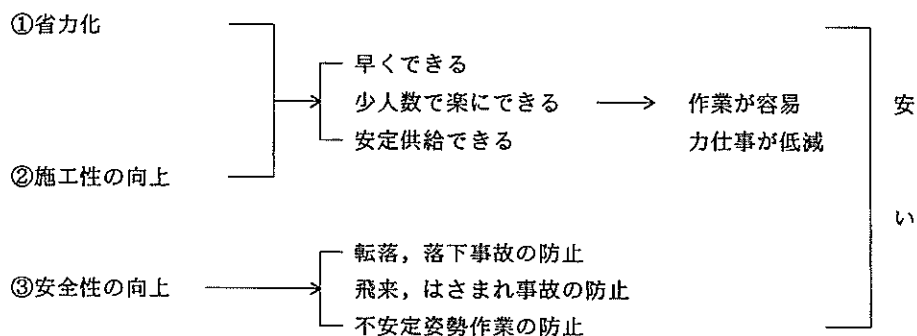


図-5.5.1 型枠技術の開発目標

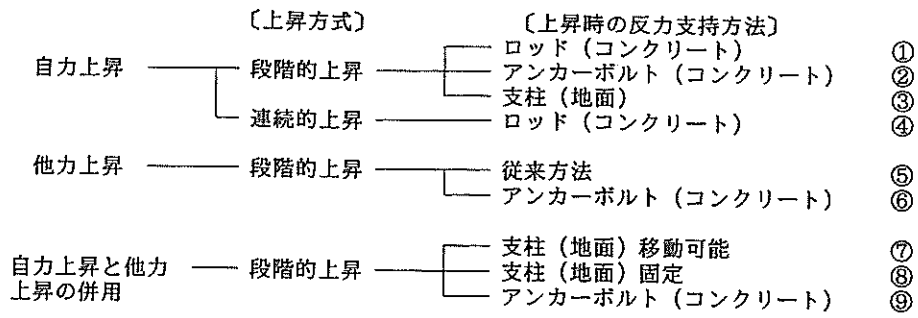


図-5.5.2 自動型枠装置のアイディア

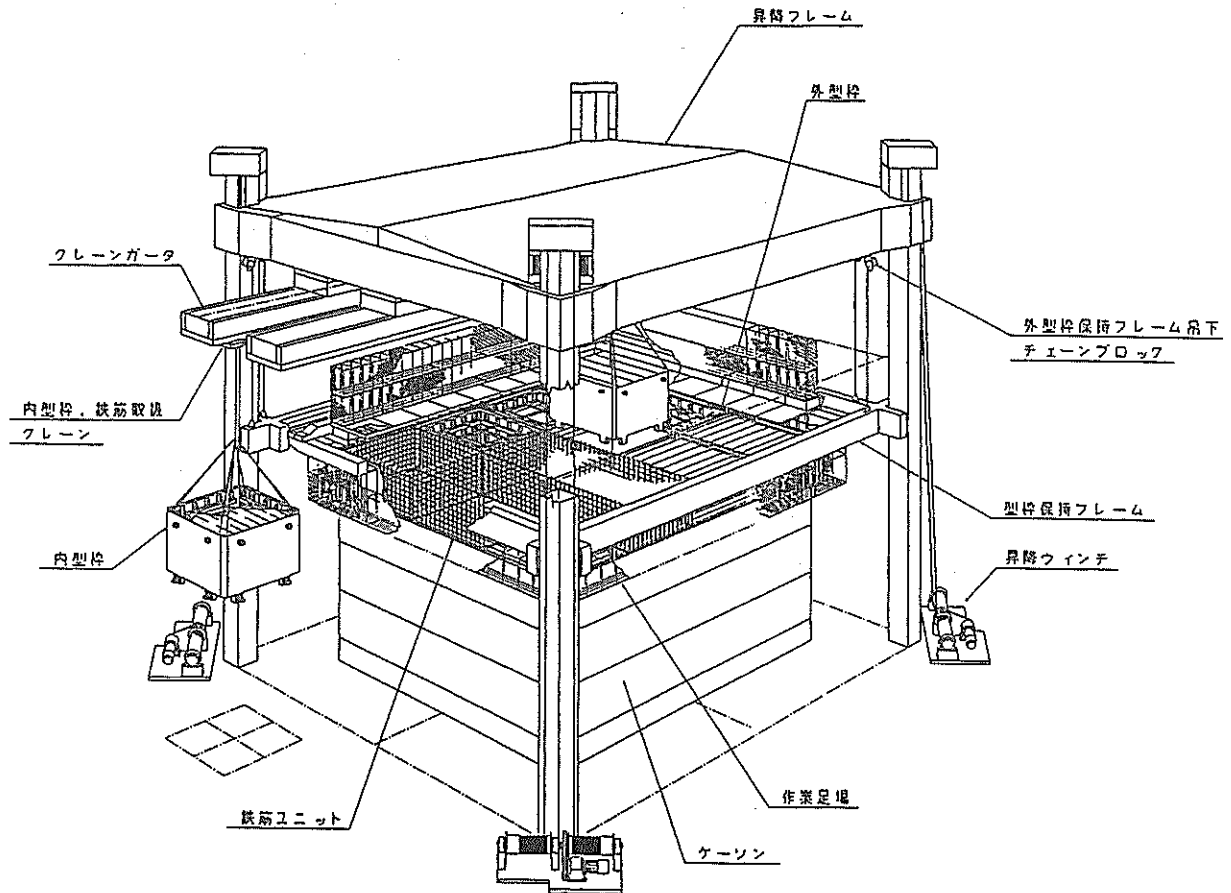


図-5.5.3 自動型枠装置のイメージ

表-5.5.2 自動型枠装置の特徴

| | 作業性 | 工程 | 経済性 | 安全性 |
|--------|---|---|--|---|
| 従来方式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ロット毎に足場作業を行う ・ロット毎に型枠清掃及び剥離剤の塗布を行う ・型枠置き場が必要 ・ロット毎にコンクリート打設の配管を行う | <ul style="list-style-type: none"> ・型枠の調整及び固定に時間がかかる ・雨や雪の影響を受けやすい | | <p>(予想される事故)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補助クレーンの転倒 ・足場作業中の落下 ・型枠間への挟まれ |
| 自動型枠装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・内外足場の架払い作業が省略できる ・ロット毎に型枠清掃及び剥離剤の塗布を行う ・型枠置き場が必要 ・ロット毎にコンクリート打設の配管を行う | <ul style="list-style-type: none"> ・クレーンの吊り高さが小さく位置決めが速くできる ・外型枠保持フレームにより調整及び固定時間が短縮できる ・屋根により雨や雪の影響を受けにくい | <ul style="list-style-type: none"> ・イニシャルコストが高い | <ul style="list-style-type: none"> ・高所作業の減少 ・補助クレーン使用の減少 |

(2) 作業性への影響

自動型枠装置がケーソン製作作業に与える影響は以下のとおりである。

- ①外足場と内足場の架払い作業が低減できる。
- ②型枠の吊り上昇作業が容易になる。
- ③ディストリビュータを吊り込むことにより、コンクリート打設管の配管作業がほとんど省略でき、打設作業が容易になる。

(3) 工程への影響

- ①内型枠・外型枠とも組立・組外し作業が連続的に進められ、工程が短縮できる。
- ②クレーンの吊り高さが小さいので型枠の位置決めが速やかに行え、工程が短縮できる。
- ③外型枠保持フレームを利用して、型枠の調整・固定時間が短縮できる。
- ④屋根があるので雨や雪の影響を受けずに作業が行える。

(4) ケーソン製作費への影響

- ①トラッククレーン等の補助クレーンの費用を低減できる。

②型枠労務費、型枠損料、足場損料を低減できる。

③外足場と内足場の架払い費が低減できる。

(5) 安全性の向上

- ①高所での足場組立・解体作業が省略でき、作業者の安全性が向上する。
- ②足場と型枠が一体であるので作業者が墜落する隙間がない。

5.5.4 内型枠施工法

(1) 新しい内型枠装置の検討

自動型枠装置を具体化するために内型枠装置の検討を行った。内型枠装置には脱型しやすいように内型枠全体を縮める「型枠着脱装置」と内型枠全体を支える「内型枠固定装置」がある。

(2) 内型枠着脱装置の検討

この装置は所要の強度に耐え得るように補強された内型枠部分を四方へ展張及び収縮させるものであり、コンクリート打設時の側圧等をすべて支持できることが必要である。

内型枠着脱装置のアイデアを図-5.5.4に示す。

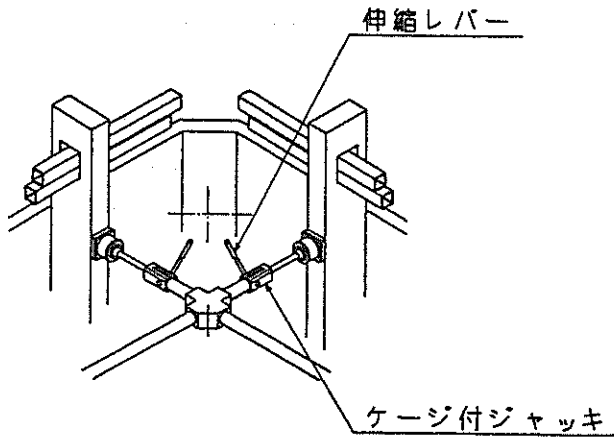


図-5.5.4 内型枠着脱装置

(3) 内型枠固定装置の検討

ケーソン内側の側壁部及び隔壁部に小さなホゾ部を設けて、このホゾを利用して内型枠材に取り付けた型枠固定装置により内型枠全体の固定を行う。

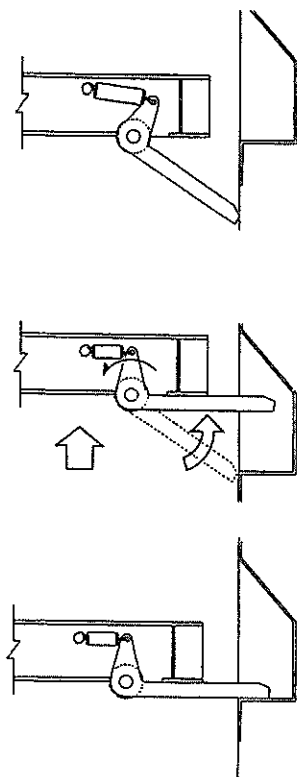
内型枠固定装置の概要を図-5.5.5に示す。

(4) 本装置の効果

- ①セパレータの廃止等により大幅に手作業が減少する。
- ②宙づり作業がなくなり安全性が大幅に向上する。

(5) 内型枠施工フロー

従来のスライド工法と自動型枠装置による施工法のフローを図-5.5.6に示す。



固定装置は型枠にチェーン等で取り付けられ、型枠とともに引き上げられる。この時にツメ部分はバネでコンクリート面に接触している。

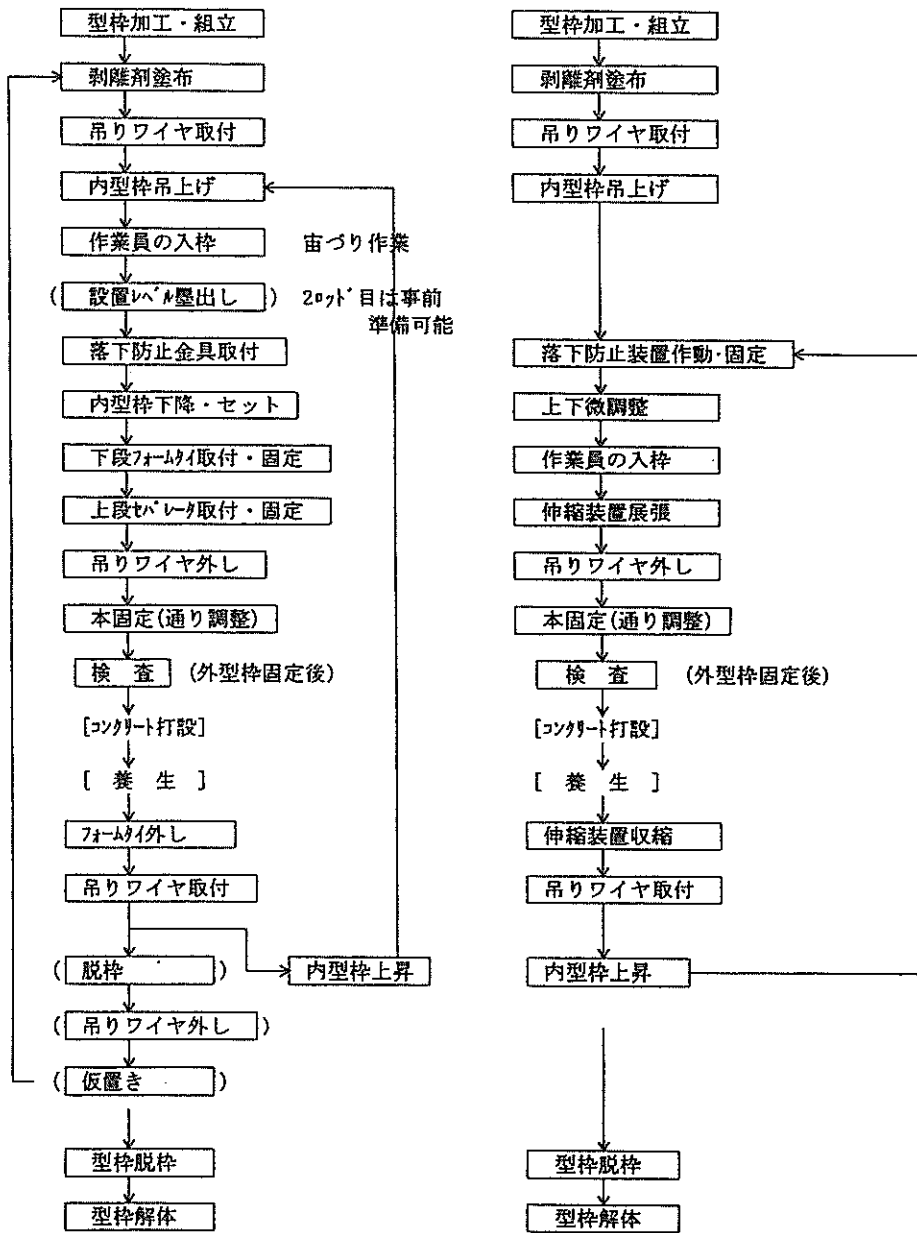
内型枠が上昇してケーソン内側のホゾ部分まで引き上げられるとツメはバネの力で起きあがる。

装置に取り付けられた4個のツメがすべて起きあがってから型枠を下げると、ホゾにツメが引っかかり型枠を固定することができる。

図-5.5.5 内型枠固定装置

従来スライド工法

自動型枠工法



()内は省略可能作業

図-5.5.6 内型枠施工フロー

5.5.5 外型枠施工法

(1) 埋込みアンカーの採用

一般的に行われているセパレータによる固定方法に代わって外型枠の下端部を埋込みアンカーにより固定する装置の概要を図-5.5.7に示す。

(2) コンクリート打設時の作業反力の支持装置

コンクリート打設時に型枠に加わる側圧（打設高3mで約 $6.9t/m^2$ ）は外型枠下端部の埋込みアンカーと上端部の幅止め金具等で支持する。作業の概要を図-5.5.8に示す。

(3) 可動式外足場装置

型枠組立作業、鉄筋ユニット建て込み作業それぞれに対して、安全で最適な足場を確保できる昇降・水平移動可能足場の概要を図-5.5.9に示す。

昇降は外型枠保持フレームによって4面同時に行う。

(4) 本装置の効果

- ①足場架組み等の手作業が低減する。
- ②外型枠保持フレームの昇降により最適な足場位置、作業高さ、姿勢が保てるので施工性、安全性が向上する。
- ③足場と型枠との隙間がなくなり転落等の事故が防止できる。

5.5.6 省力化の評価

平成7年度に内型枠着脱装置及び内型枠固定装置の作業性を確認するため、ケーソンの一部を模して、隔壁に仕切られた実物大の内マス2基を製作し、横浜機械整備事務所構内において実物大モデル実験を行った。結果としては、型枠の上昇、固定装置作動、設置完了まで作業誘導員1~2名により3分程度で完了し、省力化効果が期待できることを確認した。

平成8年度には、石巻港において、9マス中の1マスに内型枠固定装置を装備し、実用性についての試験施工を行った。結果としては、安全性、省力化、及び作業性の向上に著しい効果があることが確認できた。

6. 省力化技術と材料

6.1 高流動コンクリート

6.1.1 高流動コンクリートの概要

高流動コンクリートは過密配筋への適用を考えて開発された。すなわち、配筋間の狭い間隙を粗骨材が材料分離せずに確実に通過するコンクリートの研究から、粉体系高流動コンクリートが生まれた。省力化の観点で採

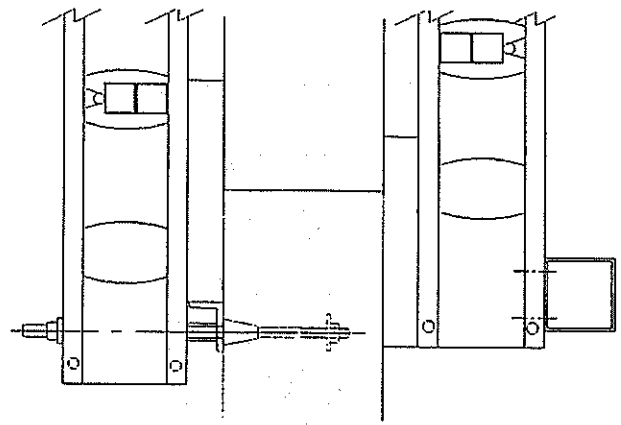


図-5.5.7 外型枠埋め込みアンカー

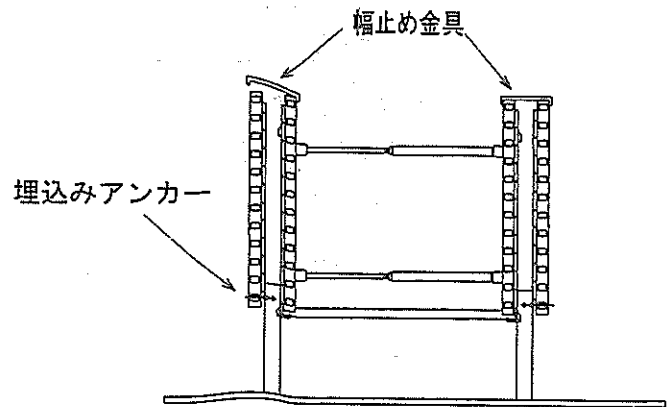


図-5.5.8 外型枠支持方法

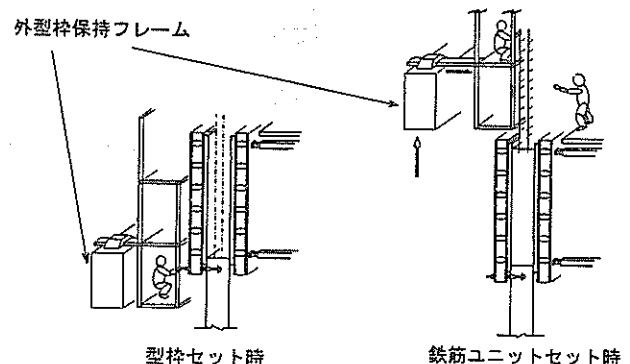


図-5.5.9 可動式足場装置

用された例としては明石海峡大橋アンカレッジ工事が代表的である。数十万 m^3 もの膨大な打設量にも関わらず、関西国際空港等他のビッグプロジェクトで労働力が不足する中、多くの単純作業員を要さないのが採用に至った。港島トンネルの鋼・コンクリートサンドイッチ合成構造への適用は養生期間を不要とし効率的な施工を可能とした。これも省力化の一つと考えられる。将来的にはフローティングドックの借用、あるいはケーソンヤード建設が不要となる洋上打設への適用が考えられる。

6.1.2 高流動コンクリートの標準仕様

(1) 原理

高流動コンクリートはフレッシュ時に粗骨材が材料分離せずに水のように流動する。その原理である「材料不分離」と「流動性」について説明する。ただし、材料不分離に対し粉体のみで抵抗する粉体系、増粘剤で主として抵抗する増粘系（ある程度の粉体を含有）、さらに粉体で主に抵抗し増粘剤を併用する併用系の3種類に分類されるが、ここでは主に粉体系について説明し、必要に応じて増粘系、併用系に使用される増粘剤について説明する。

a) 材料不分離

①粉体

粉体を大量に使用することにより、水と粉体からなるペーストに粘性を付与するのが基本的な原理である。粉体はセメント以外に添加した高炉スラグ微粉末及び細骨材の微粒分（第三港湾建設局では0.075mm未満）量を極めて正確に評価する必要がある。

②増粘剤

水中不分離コンクリートで使用される水中不分離剤に改良を加えたものが増粘剤である。増粘剤はフレッシュコンクリート中の水に粘性を付与するもので、粉体系に比べて単位水量が多くなり、比重も軽くなる傾向がある。構造物が繰り返し凍結する場合、増粘剤でとりこまれた水が凍結、融解するのであらかじめ空気量を多めに混入する必要があり、同時に比重にも留意が必要である。空気の混入に際し、増粘剤及び高性能 AE 減水剤の界面活性作用が空気を若干取り込むのでその制御にも留意が必要である。

なお、粉体と増粘剤がもたらす粘性の性質に相違があると考えられる。流動勾配の低減には粉体が望ましく、鉄鉱石のような重量骨材には増粘剤が望ましいとの考えもある。

b) 流動性

水ではなく高性能 AE 減水剤で流動性を発現するのが

基本である。高性能 AE 減水剤は界面活性剤の一種である。一般に分量は粉体（セメント等）量の重量比で記述される。効果が持続する時間は限定され、かつ温度で大きく左右されるため高性能 AE 減水剤の最適使用量も異なると考えられる。図-6.1.1に温度と高性能 AE 減水剤使用量の関係を示す。効果の持続時間は夏場で30分ぐらいとの例が報告されているが、冬場でも最長90分が限度と考えるのが良い。

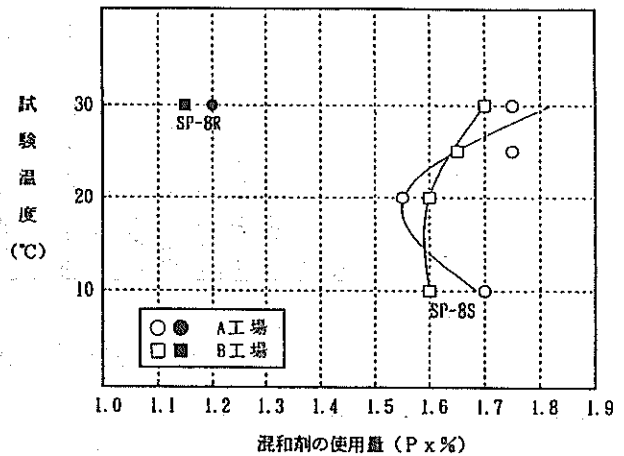


図-6.1.1 温度と高性能 AE 減水剤使用量の関係

高性能 AE 減水剤の効果は極めて鋭敏であるので、水で流動性を調整する必要があるが、余分な水はブリーディングの原因となり、鋼・コンクリートサンドイッチ構造では致命的な欠陥となる可能性がある。したがって、水量は水和反応に必要な最小量（水セメント比約30%）に近づける必要がある。

(2) 評価方法

現時点ではスランブフロー及び V ロート（口径75 or 65cm）での評価が主流である。高流動コンクリートの試験はアジテータ車毎に評価する場合が多く、試験作業の不手際は工事の連続的実施に対し問題となりかねない。ちなみに、神戸港島トンネルの鋼・コンクリートサンドイッチ構造に使用した高流動コンクリートではスランブフロー値が60~70cm、V ロート流下時間（口径75cm）が5~15秒を目標とした。（図-6.1.2~6.1.5）

(3) 配合表

従来の配合表では材料の容積（あるいは比重）及び細骨材の微粒分量等必要な情報が不足している。高流動コンクリートの配合の考え方を以下に示す。

①示方配合

骨材の粒度につき定められた理想分布を前提に室内で設計した配合。

②修正示方配合

A工場 スランプフロー (工場)

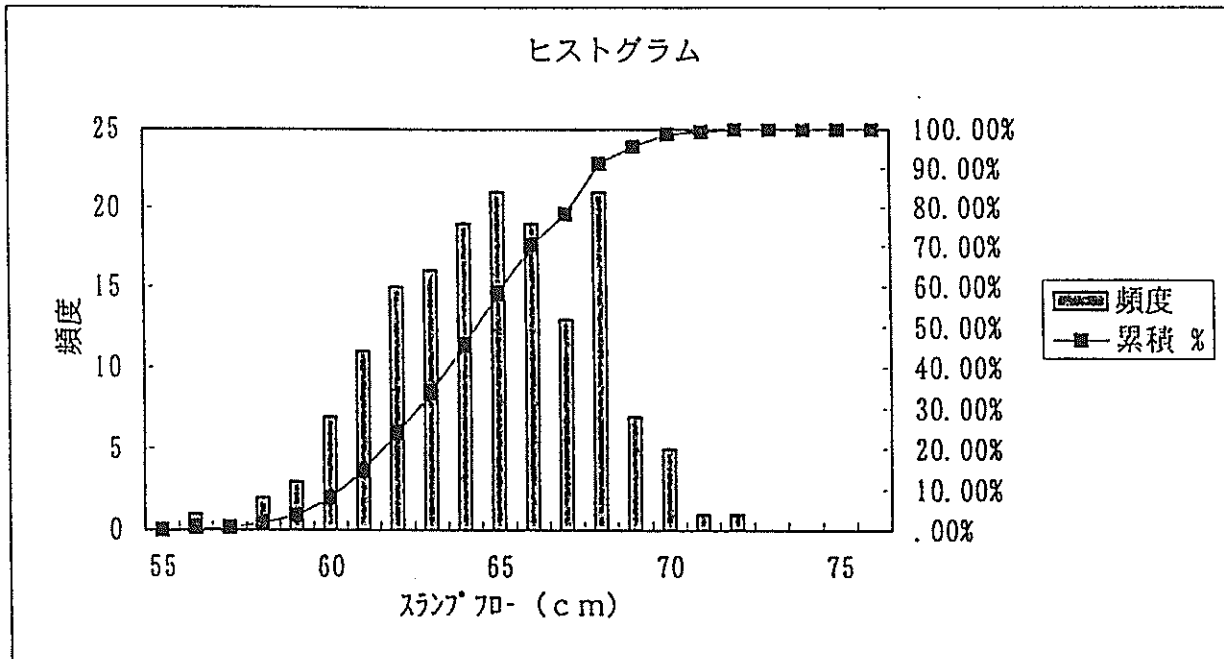


図-6.1.2 工場でのスランプフロー値

A工場 スランプフロー (現場)

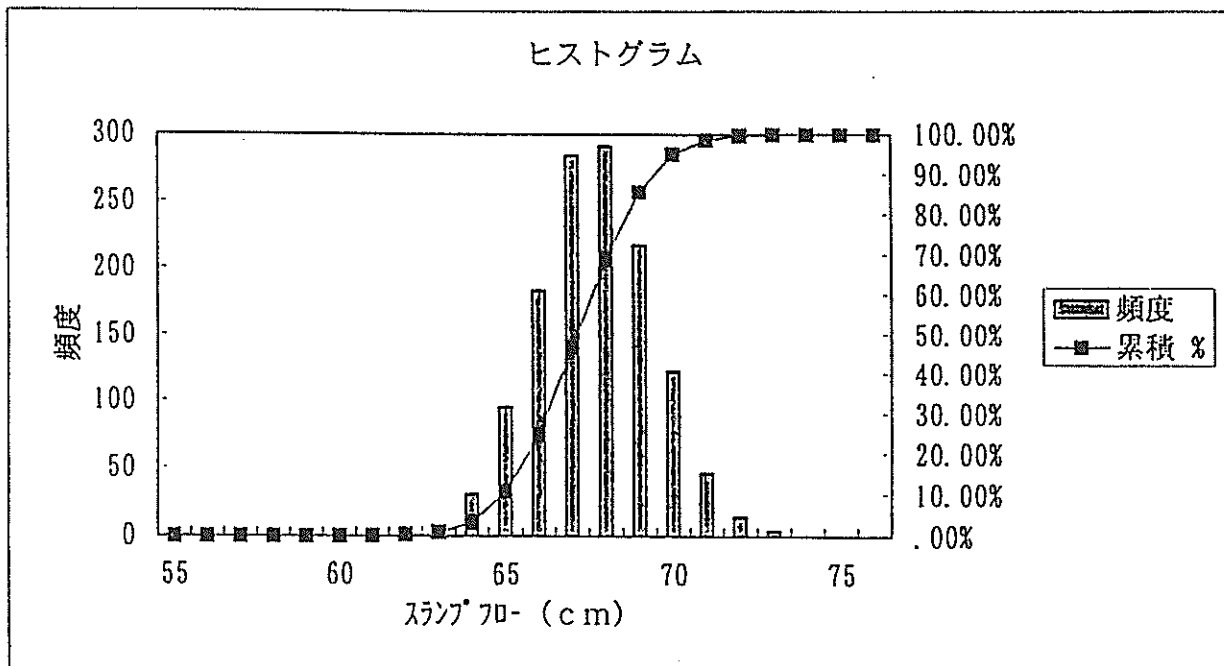


図-6.1.3 打設構造でのスランプフロー値

A工場 Vロート流下時間 (工場)

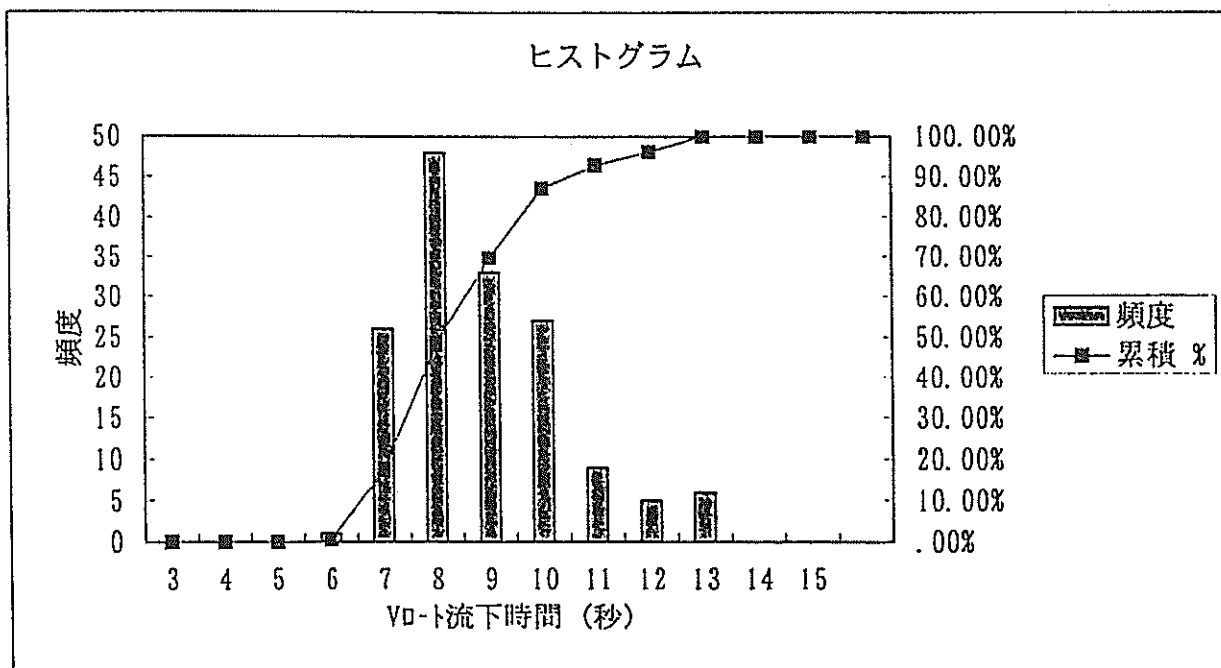


図-6.1.4 工場でのVロート流下時間

A工場 Vロート流下時間 (現場)

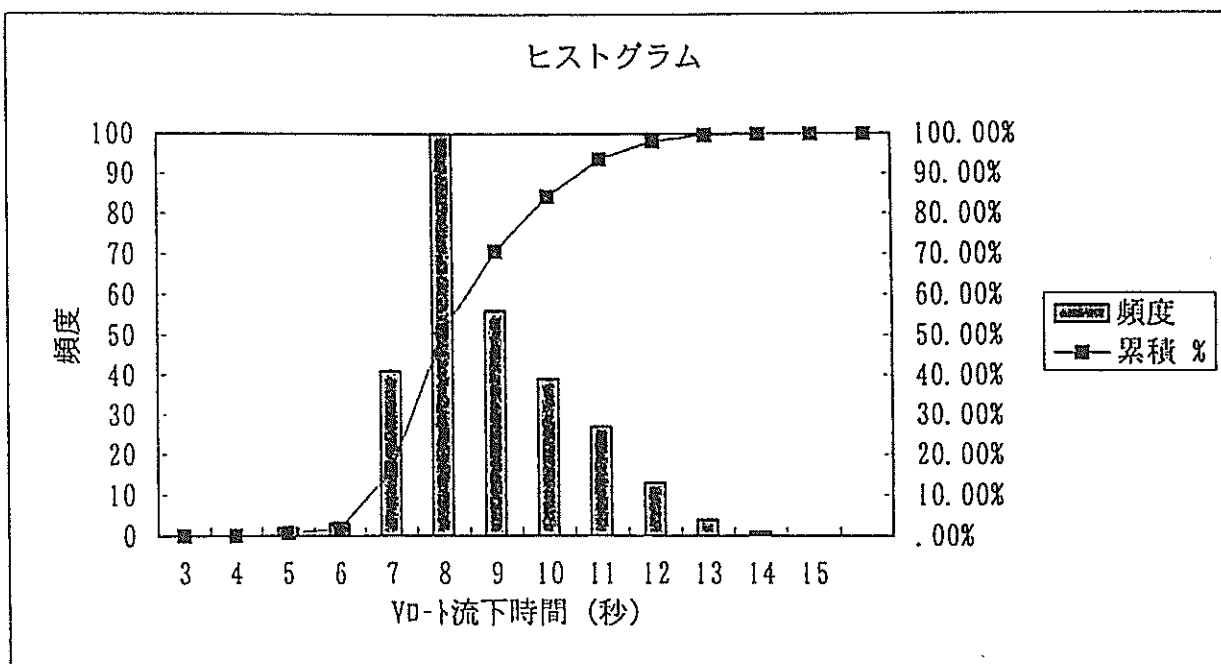


図-6.1.5 工場でのVロート流下時間

表-6.1.1 修正示方配合

| 配 合 | Gmax (mm) | Air (%) | W/P (%) | S/a (%) | GV (1/m ³) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | 高性能 AE 減水剤 |
|-------------|--------------|------------|------------|------------|---------------------------|--------------------------|---------|-----|-----|-----|-------------------------|
| | | | | | | W | C | Sg | S | G | |
| 粉 体 系 | 20 | 5.0 以下 | 30 | 50 | 300 | 176 | P (587) | | 768 | 789 | SP-8S P×1.4 ~1.6% |
| | | | | | | | 176 | 411 | | | |

※細骨材混合比 (海砂：砕砂＝75：25) $\rho_s = 2.56$ $\rho_c = 2.63$

使用予定の骨材、粉体、混和剤等を用いて、生コンプラントでの実機試験を経て、示方配合を修正したものである。その際に、細骨材粒度のうち微粒分量を正確に評価し、修正することが必要である。今回のプラントでの修正示方配合を表-6.1.1に示す。

③現場配合

実際に混練、打設するコンクリートの配合で、修正示方配合から、細骨材粒度の補正（海砂、砕砂混合比率の変更）、表面水量の補正、温度等による高性能 AE 減水剤量の変更を実施したものである。

(4) 重要なパラメータ

次のパラメータは粉体系の配合設計で主として用いられているが、併用系等増粘剤を用いた場合にも参考になると考えられる。

a) 水粉体容積比

一つの配合を表現する最も代表的なパラメータで、流動性への水の寄与程度、コンクリート比重、ブリージング、及び発生強度等を大まかに評価できる。

従来測定の容易さから水粉体（セメント）重量比が一般的に用いられてきた。しかし、セメント、高炉スラグ微粉末及び細骨材微粒分等の比重が異なる粉体を混合することがほとんどで、しかも微妙な相違（重量比1%は容積比約3%）を明確に把握するためには、重量比より容積比を原則とすべきである。ちなみに、容積比86%と88%（重量比では29.7%と30.3%）のコンクリートでは流動性状はかなり異なるので、容積比を原則として骨材表面水率を通常のコンクリートより頻繁に測定し常に補正を加えることが重要である。

b) 粗粒細骨材率

粘性の程度、すなわち材料分離に抵抗する性能を評価するパラメータでモルタル中の粘性に寄与しない粗い砂の含有容積比を示し、数値が小さい程材料分離抵抗性が強いと言える。粉体系では40～44%で、2%も異なると性状の異なるコンクリートとなるので、細骨材の微粒分量のバラツキには細心の注意が必要である。鋼・コンクリートサンドイッチ構造のように打設後の確認作業が困

難な場合には、細骨材をミルにかけ粒度分布を調整したものをを用いた方がよい。

(5) 高精度な品質管理

従来のコンクリートに比べて材料、時間において高精度の品質管理が要求され、品質管理が数 m³毎に実施されることもある。

6.1.3 製造時の品質管理

(1) プラントの選定

施設面では骨材保存用サイロにより表面水率管理が厳密にできるが、適切な管理をすれば野積みでも問題なく、細骨材の粒度分布管理の厳格性を優先して評価すべきである。粒度管理では高流動コンクリート専用の砂の確保、粒度分布のバラツキ、場合によってはミルによる調整の可能性を確認する必要がある。

表面水率では測定頻度の頻繁さに着目し、慎重に評価すべきである。そして、表面水率測定値及びミキサーでの設定値等のデータを要求すれば、提出することも確認する。また、ミキサー機種、容量、アジテータ車の台数と運転手数、主任技術者数等をプラントから聴取することが必要である。

(2) 粉体の選定

粉体系、増粘系を問わず細骨材の微粒分を積極的に補填するために適切に選定することが必要である。また、鋼・コンクリートサンドイッチ合成構造への適用に際し、粉体粒度が細かいほど、材料分離に懸念せず高い流動性を設定することが容易になる。主として次の3種類が入手可能であるが、実際の使用に際しセメントとの併用が原則である。

a) セメント

セメントも粉体の一種であるので、増粘系でセメント量を増量し積極的に活用する例もある。粒度は他の製品に比べ大きめであるので、表面鋼板との密着が要求される鋼・コンクリートサンドイッチ合成構造に適用する場合は注意を要する。

b) 高炉スラグ微粉末

製造時の品質管理が厳密なため、入荷毎の粒度分布のバラツキがほとんどなく、安定した高流動コンクリートの製造が可能である。セメントより高価だが、安定した品質のコンクリートを供給することが可能である。

c) 石灰石微粉末（石粉）

ブランド毎に粒度分布調整に差があるので、入荷毎のバラツキに関して一概には言えない。結合材でなく水和反応時の発熱が低いので、温度ひび割れに厳しい場合に

適する。しかし、比重が軽いので沈埋函のように乾舷調整に厳密な場合、及び橋梁のアンカレッジのように重量を期待する場合には、比重に寄与する粗骨材の増量、及び寄与しない空気量の絞り込みに注意を要する。

(3) 細骨材粒度管理

専用理範囲の一例を図-6.1.6に示すで粒度調整済みの砂が望ましい。ちなみに、粒度分布管・外側の点線はJIS規格で、それよりも狭い範囲で管理していることがうかがえる。

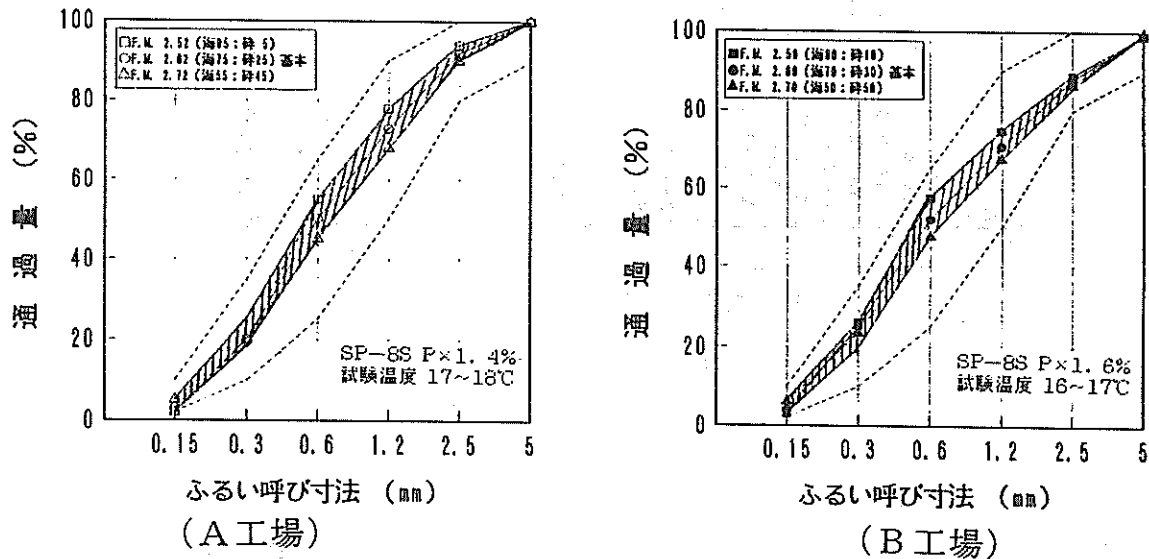


図-6.1.6 細骨材の管理

(4) 骨材表面水率の補正

表面水率管理は測定頻度を多くする必要がある。熟練者の触感も積極的に活用すべきである。急激な表面水率の変動に混乱することなく混練にフィードバックできる。

また、前日、当日に十分な降雨があった場合は表面水率は高い値で安定することが多い。台風時はやや問題は複雑である。雨台風ならば通常の降雨の場合と同様であるが、風台風ならば風で表面水が吹き飛ばされる場合がある。

混練で表面水率測定値をプラントの生コン製造機械に表面水設定値としてインプットし補正するが、表面水率設定値を測定値と違う値に設定して、水を加減することがある。これは水によりフローを調整することに他ならないので禁止しなければならない。

なお、表面水が添加した水と直ぐにはよく混じらず、フローがでないことがある。これは、混練時間が不足しているか、あるいは材料の投入順序によることが多い。混練時間は普通コンクリートでは30秒未満が一般的だが、高流動コンクリートでは2軸強制ミキサーで90~180秒、

傾胴型ミキサーで7分程度必要である。材料投入順序は実機試験段階で確認することが必要である。ちなみに今回の表面水率の実測値を図-6.1.7~6.1.8に示す。

(5) 温度管理

気温、骨材及びコンクリート等の温度により、スランプフロー値及びその維持時間が大きく左右される。そこで、コンクリート温度を頻繁に測定し、高性能 AE 減水剤の添加量を微妙に調整し、所要の性能を実現するよう努める。その際に決して水で調整しないことが必要である。

6.1.4 時間管理

(1) 現場の体制

不具合なコンクリートが発生すれば打設を中断する必要があるが、通常不具合を知る担当者で打設中断を判断する担当者が異なる場合が多いので、不具合なコンクリート打設が続けられることがある。鋼・コンクリートサンドイッチ合成構造では打設後のコンクリートの中身を覗くことはほとんど不可能なので、硬化後に問題が判明

A工場 海砂表面水（実測）

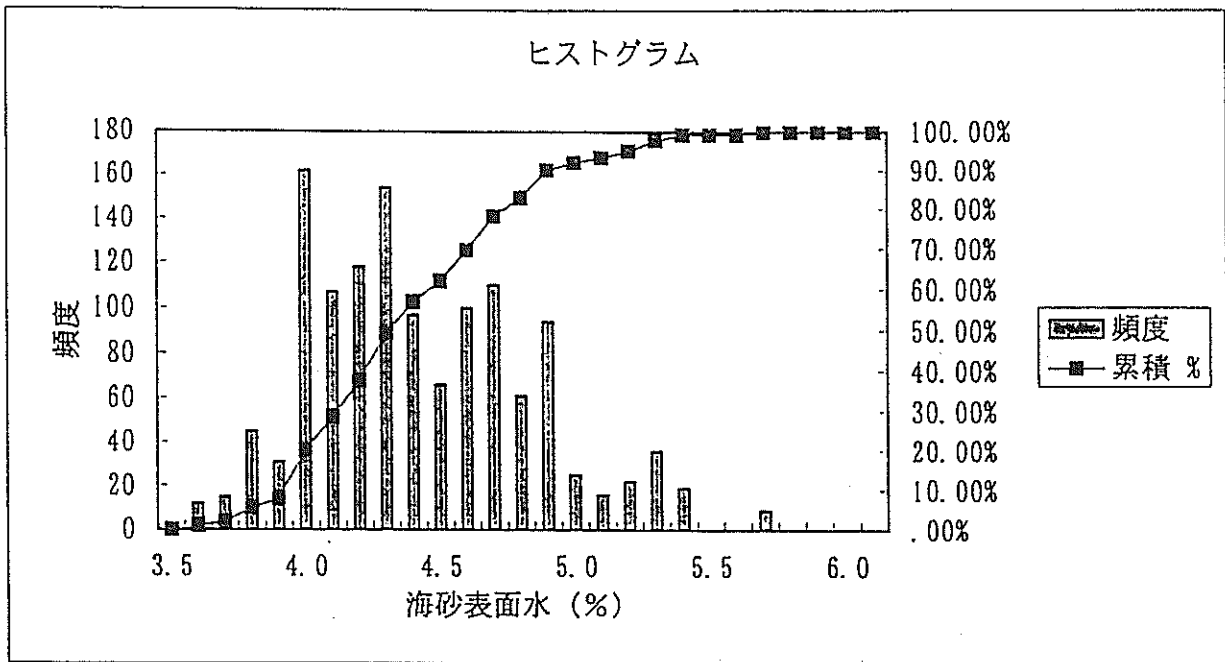


図-6.1.7 海砂の表面水率

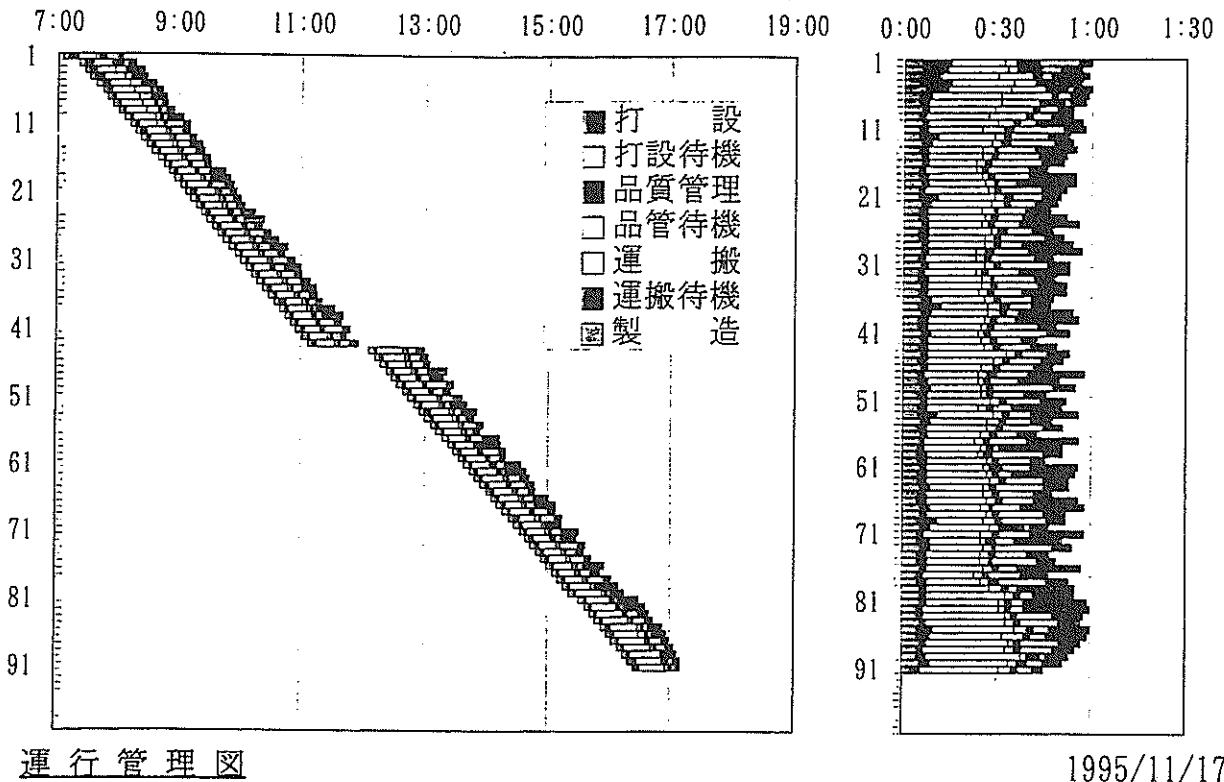


図-6.1.8 アジテータ車の運行管理

する場合もある。高流動コンクリートでは中断の遅延が、圧送パイプの詰まりなど長時間の中断を要するトラブルに発展する可能性がある。通常中断する権限は工事事務所の経理責任者に所在するので、その責任者に対し中断の判断に要する情報をリアルタイムで提供する必要がある。

(2) 時間管理

高性能 AE 減水剤の効果は10～20分ぐらいまでは漸増するがそれ以後急速に下降し、60～90分程度で所要の流動性を失う。したがって、流動性にかかる品質は刻一刻と変化するもので、中断等の判断にはどのコンクリートがいつ、どこに、どんな品質で所在するかという情報が必要である。

a) 測定時間

アジテータ車でコンクリートを特定し（本日第15台目

等）、その混練開始から打設終了まで、以下の時点で時間を測定することが望ましい。（図-6.1.9）

- ①混練開始：混練終了から測定を開始するより普遍性に優れる。また高性能 AE 減水剤の投入時間がほぼ正確に把握できる。
- ②出荷時品質管理開始：高性能 AE 減水剤の効果を常に同じ条件で評価するため、混練開始7分後というように特定時間に設定する。
- ③出荷時間：運搬時での渋滞を確認するため。
- ④現場到着：品質管理での渋滞を確認するため。
- ⑤荷卸時品質管理開始：打設での渋滞を確認するため。
- ⑥打設開始：打設での手間取りを確認するため。
- ⑦打設終了：全体の所要時間、すなわち流動性の発現時間内の打設終了を確認するため。
- ⑧帰着：アジテータ車の回転の円滑性を確認するため。

A工場 砕砂表面水（実測）

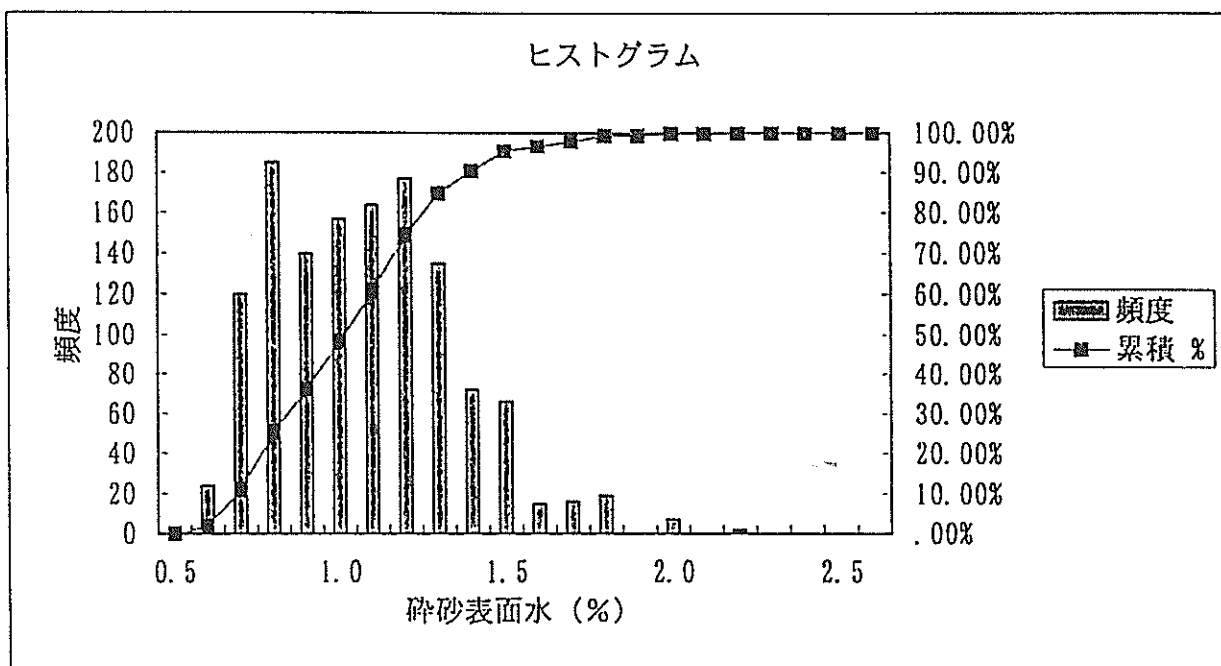


図-6.1.9 砕砂の表面水率

b) 制限時間

測定した時間が制限時間内であることを確認する。制限時間はあるアジテータ車のコンクリートの使用限界時間（おおむね60～90分）、荷卸時品質試験開始から打設終了までの時間（おおむね20～30分）がある。

c) 情報ネットワーク

膨大な時間情報を処理するためには、関係者間に電子

的ネットワークを構築し、中断を判断する責任者に秘書として情報分析担当者を配置することが望ましい。

6.1.5 省力化の評価

神戸港島トンネルにおいて、高流動コンクリートを使用した鋼・コンクリートサンドイッチ構造である2号函が普通コンクリートを使用したオープンサンドイッチ構

造である1号函に比べていかに省力化が図られたかについて示す。図-6.1.10は鋼・コンクリートサンドイッチ構造(2号函)とオープンサンドイッチ構造(1号函)の沈埋函製作での主な作業従事人数について調査した結果を示す。鋼・コンクリートサンドイッチ構造はオープンサンドイッチ構造と比較すると合計で約2%の省力化が図られていることがわかる。また、工場内作業である鋼殻製作工が増え、高所での作業となる型枠工が減少しており質の面でも省力化が図られていると考えられる。

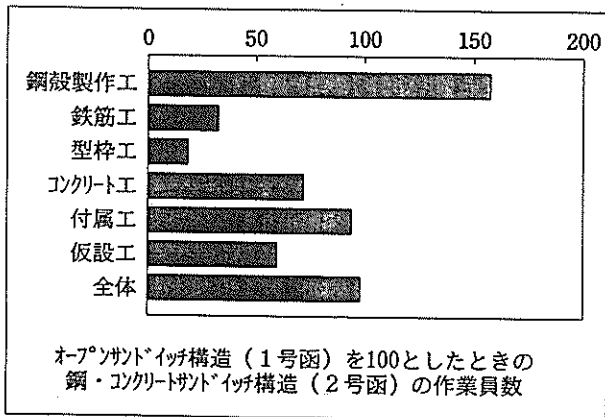


図-6.1.10 主な作業での延べ作業員数の比較

工場内作業では鋼・コンクリートサンドイッチ構造化することにより工場内での鋼殻製作作業が増えるために約50%の増加が見られるが、現場工事である鉄筋工、型枠工、コンクリート工でそれぞれ約70%、約80%、約30%減少している。高流動コンクリートの打設に際して厳格な施工管理を行っているが、その作業人数の増加はわずかである。このように高流動コンクリートの打設のみを考えるのではなく、沈埋函製作全体としてとらえると神戸港島トンネル沈埋函への高流動コンクリートの採用により省力化が図られていると考えられる。

6.1.6 建設費縮減の評価

高流動コンクリートを神戸港島トンネル沈埋函へ使用することにより、図-6.1.11に示すように沈埋函製作費で約9%の建設費縮減が図られている。また、製作工期も20ヶ月から15ヶ月へと短縮している。

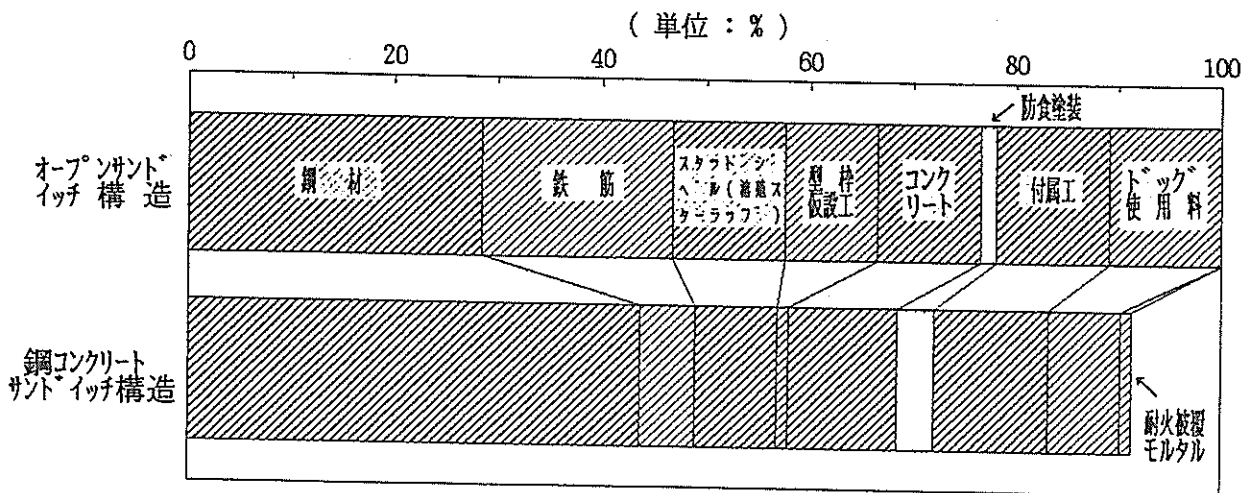


図-6.1.11 制作費比較

6.1.7 今後の技術開発

今後、以下の方向の技術開発がより一層の省力化問題の解決へ寄与するものと考えられる。

(1) 全量試験機の開発

高流動コンクリートの試験方法としては理想的なものである。ロード試験を大型化したものが考案されており、ポンプ車の投入口の前に設置し通過しなかったコンクリートを不具合品としてはねるものである。アジテータ車

のように離散系での管理では車毎の抜き取り検査が全量試験に代替されるが、ミキサー船のように連続系で運搬する場合はかかる試験器の開発が必要である。

(2) 運行管理へのエキスパートシステムの開発

現場あるいは運搬途上でトラブルが発生した際、現行システムでは出荷調整及びアジテータ車の運行調整の最適解を人間が検討しているが、これをコンピュータで行えば工事関係者の負担を軽減することが可能である。

6.2 省力化部材の力学特性

6.2.1 溶接鉄筋の力学特性

(1) 溶接鉄筋網について

鉄筋同士を点溶接する方法として、一般的には抵抗溶接とアーク溶接が用いられている。

抵抗溶接は、鉄筋同士を接触させ大電流を接触箇所に通し短時間で溶接する方法である。鉄筋網の製作では、鉄筋を縦横に敷き並べ高圧下の基で多点溶接する。今回溶接による鉄筋への熱影響の範囲を極力狭くするため電流と圧力とを通常の鉄筋網の製作時より小さくした。また溶接時間も0.3sec程度とした。

アーク溶接は、溶接棒と鋼材間に電氣的にアークを発生させこの熱により鋼材や溶接棒（溶接金属）を溶融して鋼材同士を接合する方法である。溶接ワイヤは MG-50 12φを選定した。溶接箇所は鉄筋交点の片側のみを約150mm/min の速度でスポット溶接した。溶接時間は、アーク溶接機の時間設定ダイヤルで設定し、規定時間以外の溶接を行わないよう作業管理を行った。

使用した鉄筋径は、通常の規模の港湾用ケーソンに使用される種類から選定した。鉄筋径は、異形鉄筋の D13, D16, D19及び D22である。材質は D13が SD295A と SD345で他の鉄筋はすべて SD345である。いずれの鉄筋も電気炉によるものである。これらの鉄筋の種類を縦筋と横筋とに組合せて鉄筋網を製作した。

溶接鉄筋では鉄筋同士を点接するため鉄筋の強度低下⁷⁾が懸念される。また溶接鉄筋を使用することにより接合部（重ね継手部）が存在する。この接合部では、一断面で溶接鉄筋網同士が接合され現行の基準類⁸⁾に整合しない。そこで溶接鉄筋の基本的な力学性状^{9) 10)}を調べ、港湾用ケーソンへ適用するための条件を整理して設計法の提言のための基礎資料^{11) 12)}を得ることとした。

(2) 基本的な力学試験の項目

溶接鉄筋網の溶接部を切り出して以下の試験を行う。

- ①鉄筋の引張試験
- ②曲げ試験
- ③溶接部の引張及びせん断試験
- ④硬度試験
- ⑤高応力繰り返し試験
- ⑥疲労試験

溶接鉄筋網の3種類の接合部を持つ鉄筋コンクリート梁部材を対象に以下の載荷試験を行う。

- ①静的な曲げ及びせん断試験
- ②疲労試験

(3) アーク溶接での予備試験

アーク溶接鉄筋で溶接による影響が曲げ強度とせん断

強度に及ぼす程度を調べるため、溶接電流と溶接時間をパラメータとして予備試験を行った。曲げ角度と溶接電流の関係を図-6.2.1に示す。溶接時間2sec の場合、溶接電流に関係なく概ね良好な曲げ特性を有していた。溶接時間3sec 以上の場合は、溶接電流が大きくなると曲げ角度の性能が低下する傾向にあった。溶接電流150A で、溶接時間が2sec 及び3sec の曲げ試験後の試験体状況は、3体（各ケース3体）すべてが180度まで曲げることができたが、各ケースの1体づつは母材と溶接材の間に5mm 程度の亀裂（溶接材の剥がれ）が生じていた。

溶接電流 (A)

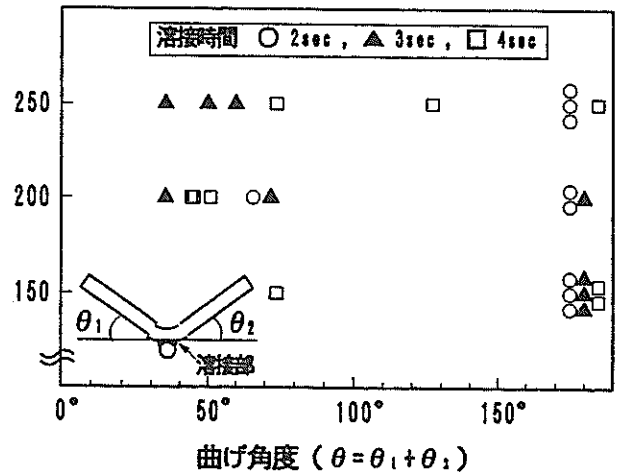


図-6.2.1 曲げ角度と溶接電流の関係（アーク溶接）

せん断荷重 (KN)

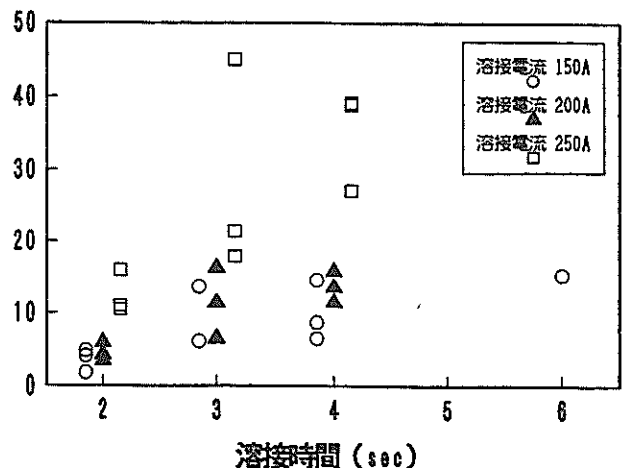


図-6.2.2 溶接時間とせん断荷重の関係（アーク溶接）

図-6.2.2に溶接時間とせん断荷重の関係を示す。溶接時間とせん断荷重はほぼ比例関係にあった。また溶接電流が大きいほどせん断荷重も大きくなるが、溶接時間が長くなるほどせん断荷重の増加傾向も大きかった。これは一般的に溶接電流が大きいほど、溶接時間が長いほど溶接材の溶込み量が多くなるため強度が増大したものと考えられる。

曲げ試験及びせん断試験の結果、曲げ性能の良いものは150Aで3sec以下である。またせん断荷重は150Aの2secよりも3secの方が約2倍程大きい。この結果からアーク溶接鉄筋網の製作には、溶接電流150A、溶接時間3secが最適な溶接条件であることがわかった。

(4) 引張試験

図-6.2.3に溶接での各鉄筋の組合せ毎と単鉄筋の上降伏点強度の関係を示す。JISで定める降伏点はD16が295N/mm²以上、D19以上が345~440N/mm²である。試験の結果、上降伏点強度は溶接部の有無に関わらず370~395N/mm²で規格値以上であった。

図-6.2.4に鉄筋の伸び(%)を示す。JISの規格値はD16が16%以上(2号試験片)、D19以上が18%以上である。試験の結果、D16は溶接部の有無に関わらず伸びは概ね16~19%でJISの規格値以上であった。D19及びD22の単鉄筋は伸びが概ね17~21%で、一部の試験体で規格値を下回るものがあった。D19及びD22のアーク溶接は、伸びは16~18%で単鉄筋と同様に規格値を下回るものがあった。抵抗溶接の場合、伸びは8~24%で単鉄筋やアーク溶接よりもばらつきが大きかった。また試験体の半数以上がJISの規格値以下であった。伸びが低下した原因は、一般的には鋼材に溶接を行った場合、母材は溶接の熱影響により硬度が上がり、脆くなり、延性が低下すると言われている。このように溶接により鉄筋の伸びが十分でない場合があった。

(5) 曲げ試験

図-6.2.5に鉄筋の曲げ試験結果を示す。ここで示した曲げ角度は载荷後の残留角度である。試験の結果、溶接部のない単鉄筋はいずれも規定の曲げ载荷を行っても鉄筋に亀裂などの現象は生じなかった。一方、抵抗溶接の鉄筋は、溶接部の端部から脆性や延性的な亀裂破壊が生じて全ての鉄筋が折れてしまった。そのときの曲げ角度は鉄筋径の組合せに関係なく10~70度の小さな値であった。曲げ試験を行った結果、抵抗溶接された鉄筋の曲げ性能は良好と言えなかった。

アーク溶接の鉄筋D19-16の曲げ角度は150度以上で、他の溶接鉄筋は180度まで曲げることができた。D22-19の1体を除く残り8体には、溶接熱影響部に約9~13mm

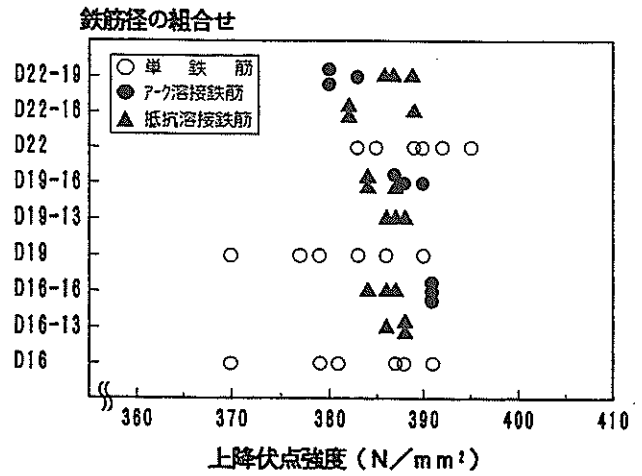


図-6.2.3 鉄筋の上降る伏点強度

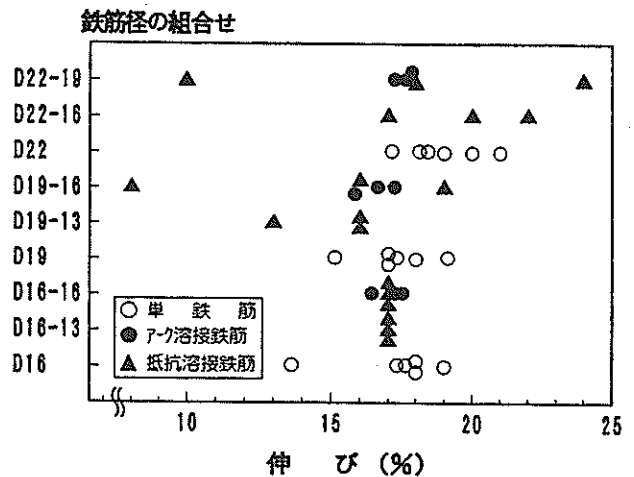


図-6.2.4 鉄筋の伸び

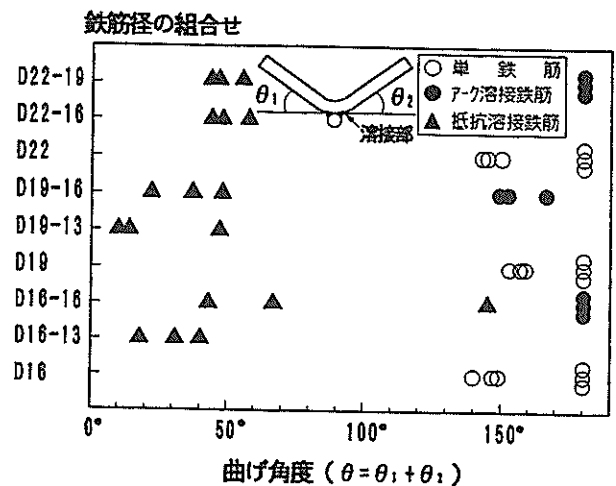


図-6.2.5 鉄筋の曲げ試験

の亀裂（溶接材の剥がれ）が生じていた。

曲げ試験の結果、アーク溶接された鉄筋の曲げ角度は概ね良好な性能を有していたが、大多数の試験体で母材と溶接材の間で剥がれが生じた。しかし、母材には致命的な亀裂等がないことから、曲げ特性としては特に問題はないものと考えられる。

(6) 溶接部強度試験

図-6.2.6は抵抗溶接での各鉄筋の組合せ毎の試験結果である。鉄筋径が太くなるほど引張荷重やせん断荷重も増加する傾向にあった。引張荷重は20.6~59.4kN(2.1~6.1tf)、せん断荷重で35.6~88.7kN(3.6~9.1tf)の範囲であった。試験結果のばらつきが全体的に大きかった。これは鉄筋の山と谷との接触形態により溶接の溶け込み範囲が異なることによるものと考えられる。また、試験後に破断断面積を測定したところ、27~243mm²の範囲であった。

図-6.2.7にアーク溶接での溶接部の引張荷重と鉄筋径の組合せを示す。また図中の凡例は、溶接時における鉄筋同士の接触形態を示している。引張強度は約2~10kN(0.2~1tf)でばらつきが大きい。鉄筋径の組合せが太くなるほど引張強度がやや低下する傾向があった。

図-6.2.8にアーク溶接での溶接部のせん断荷重と鉄筋径の組合せを示す。せん断荷重は、約2~40kN(0.2~4tf)でかなりばらつきが大きい。鉄筋径の組合せは太くなるほどせん断強度のばらつきも大きくせん断強度が上がる傾向にあった。

両試験において鉄筋同士の接触形態が与える強度変化について調べたが、強度への影響はほとんど見られなかった。また、最低の引張荷重及びせん断荷重は約2kN(約0.2tf)確保できることから、アーク溶接鉄筋網の施工時の吊り下げ運搬などの作業中の強度は十分と言える。

(7) 硬度試験

図-6.2.9に抵抗溶接での試験結果の一例を示す。図では鉄筋径の組合せがD16-13及びD22-19の場合で、測定は溶接接合点(Bond)を通過する水平方向(X)の硬度分布である。溶接の熱影響のない母材の硬度(HV)は200以下であるのに対して、溶接部の硬度は約350程度でやや大きな値であった。また溶接部の熱影響範囲は、水平方向で約±10mm、鉛直方向で約±5mmの広い範囲までに及んでいた。他の試験体でも同様な結果を得た。

図-6.2.10にアーク溶接での溶接電流150A、溶接時間2、3及び4secの条件での硬度分布を示す。測定は溶接接合点(Bond)を通過する水平方向である。溶接部の硬度は約450とやや大きな値であった。また溶接部の熱影響範囲は、水平方向で約±4mm程度であった。また

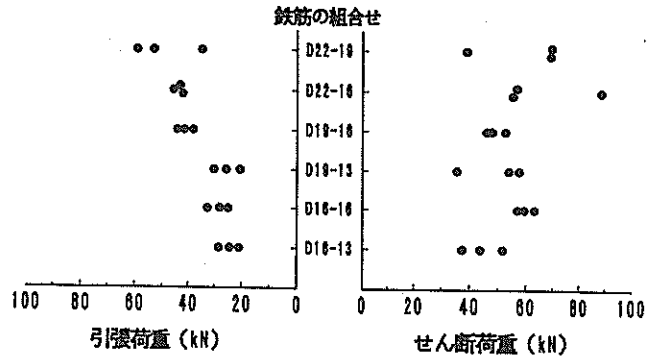


図-6.2.6 溶接部引張及びせん断試験（抵抗溶接）

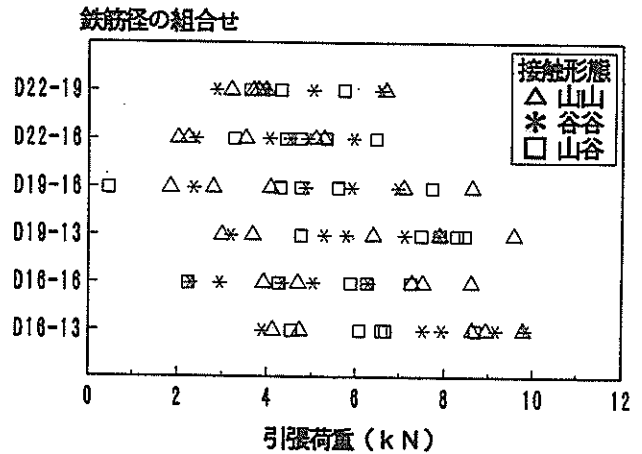


図-6.2.7 溶接部引張試験（アーク溶接）

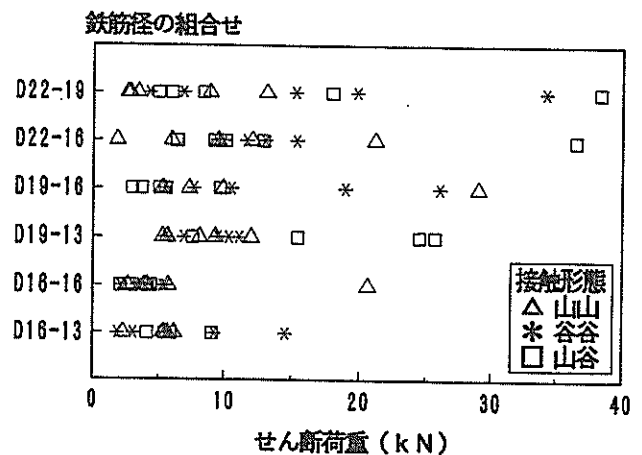


図-6.2.8 溶接部せん断試験（アーク溶接）

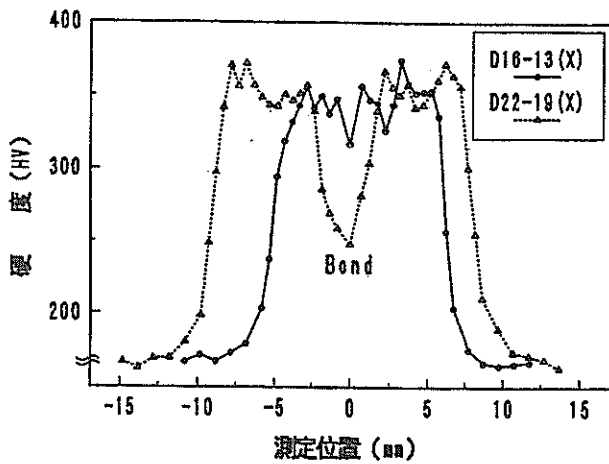


図-6.2.9 溶接部の硬度分布

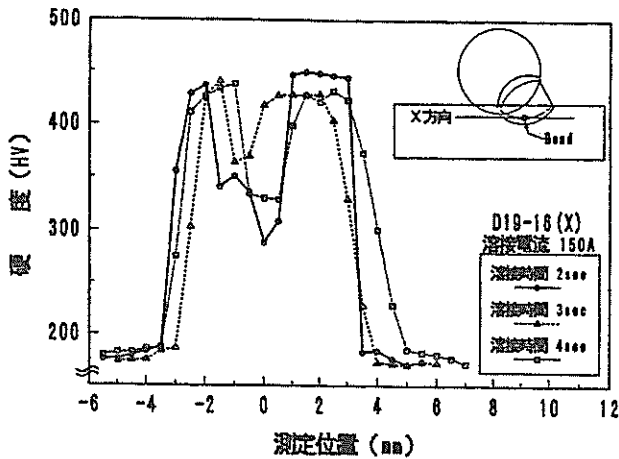


図-6.2.10 溶接部の硬度分布と溶接時間(アーク溶接)

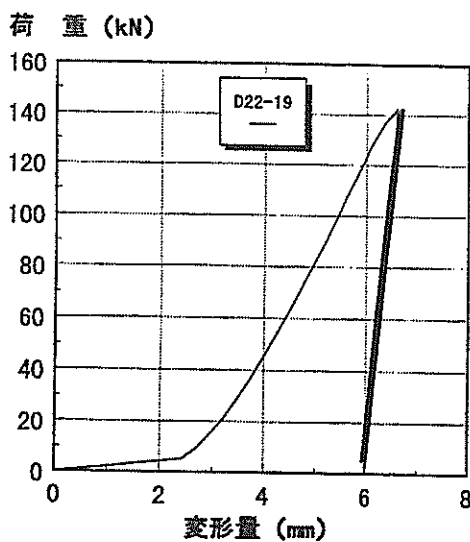


図-6.2.11 高応力繰返し試験(抵抗溶接)

図からも分かるように、溶接時間が変わっても硬度には顕著な差は見られなかった。

(8) 高応力繰返し試験

試験の結果の一例を図-6.2.11に示す。抵抗溶接の鉄筋組合せは D22-19である。また1回目と30回目の直線勾配比は0.986であった。他の試験体についても同様な結果を得た。

土木学会の鉄筋継手指針では1回目と30回目の直線勾配比 (E_{30}/E_1) が85%以上であれば高応力繰返し耐力を有する継手と評価しているのに対して、今回の試験では最低でも0.9以上が確保されていた。高応力繰返し試験を行った結果、溶接部を有する鉄筋は地震時に高応力を繰返し受けても十分耐えることが判明した。

(9) 疲労試験

抵抗溶接での試験結果を図-6.2.12に示す。試験体数は十分ではないが図からもわかるように、繰返し数が最大200万回時において疲労強度は約20%程小さかった。図中にコンクリート標準示方書に示される鉄筋の設計疲労強度を示す。疲労強度は応力振幅が200~250N/mm²の範囲では、示方書の設計値とほぼ同じとなった。疲労試験の最終破断位置は、単鉄筋の場合母材部とチャック内部で破断していたが、抵抗溶接の場合はすべてが溶接部または溶接部付近で破断していた。

アーク溶接での試験結果を図-6.2.13に示す。溶接時間2sec と3sec の場合、応力値が約230N/mm²以下の領域では示方書の設計疲労強度を下回った。また溶接部のない単鉄筋と比較した場合、アーク溶接鉄筋は最大で約20~30%ほど疲労強度が低下した。図中を見る限りでは溶接時間の違いによる疲労強度の差は見られなかった。

疲労試験の最終破断位置は、溶接時間が2sec の溶接鉄筋は、5体中4体(1体は破断なし)が溶接部付近で破断していた。一方、溶接時間3sec は、5体中3体は溶接部付近で破断しており、1体は母材部で破断していた。残りの1体は破断はしなかったものの、繰返し载荷回数が約112,400回にて横筋が外れてしまった。

示方書では溶接された鉄筋の疲労強度は50%までは低下する可能性がある」と指摘しているが、今回の抵抗溶接とアーク溶接の鉄筋の疲労強度は50%まで低下しなかった。

(10) 梁の曲げ及びせん断試験⁵⁾

溶接鉄筋では、施工の容易さを考慮して1断面で鉄筋同士が接合される。しかしこの場合部材の終局破壊性状やひび割れ性状に悪い影響を及ぼすことが懸念される。今回3種類(タイプA~C)の接合形式を選定し、この接合部を持つ梁部材を対象に静的曲げ及びせん断試験を

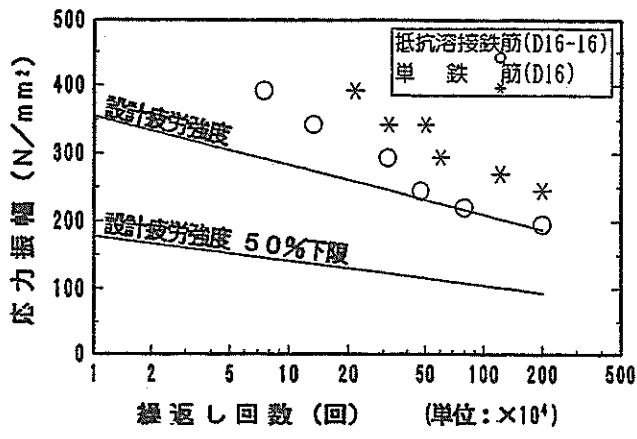


図-6.2.12 鉄筋の疲労試験結果 (抵抗溶接)

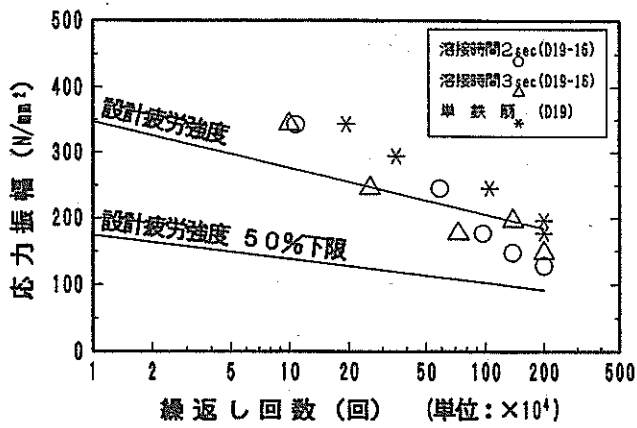


図-6.2.13 鉄筋の疲労試験結果 (アーク溶接)

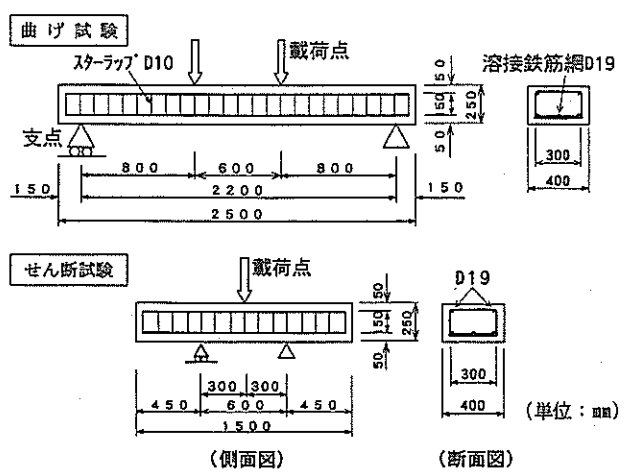


図-6.2.14 試験体の概要

行った。曲げ及びせん断試験用の試験体の概要を図-6.2.14に示す。使用したコンクリートは早強ポルトランドセメントで、設計基準強度は 24N/mm^2 とした。タイプ A は、接合部で主鉄筋に U 型のフックを付けて 33cm の範囲を重ね継手とした。U 型部の直径は 60R とし 38cm ほど折り曲げた。タイプ B は、主鉄筋の継手部の長さを交互に変えかつ接合部に溶接鉄筋網を補強した。補強した溶接鉄筋網は D19を3本で長さ 123.5cm とした。タイプ C は、重ね継手長を 30D (57cm)とし1箇所での重ね継手(いも継手)とした。ただし鉄筋同士は少し距離を置いて配置した。またタイプ N は、接合部のない溶接鉄筋網のみの試験体である。計測項目は、主鉄筋のひずみ、コンクリートひずみ、ひび割れ幅、試験体の変位及び荷重値とした。

図-6.2.15に曲げ載荷試験での各試験体の荷重変位の関係を示す。各曲げ試験体の終局荷重は、 $17\text{tf} \sim 20\text{tf}$ であった。3種類の接合方式の試験体は、接合部のない試験体よりも大きな曲げ耐荷力があった。示方書に示されている計算方法¹⁶⁾での曲げの終局荷重は、 17.5tf である。ただしこの計算値は、材料係数、部材係数などを考慮していない特性値を使用して求めた。したがっていずれの試験体も所定の曲げ耐荷力を保有していると言える。せん断耐荷力は $55\text{tf} \sim 65\text{tf}$ の範囲であった。タイプ B の試験体が一番大きなせん断耐荷力があった。また示方書に示される計算方法でのせん断耐荷力(特性値を使用)は、 43.1tf でありいずれの試験体も計算値より大きな実験値となった。

(11) 梁の疲労試験

3種類の接合部と接合部のない梁の曲げ疲労試験を行った。各種類で4本の梁を製作し 2.2Hz の振動数で鋼材の降伏荷重の $0.9, 0.8, 0.7$ 及び 0.6 の荷重振幅で荷重を行った。図-6.2.16にタイプ N と A の試験体のひび割れ発生状況を示す。いずれの試験体(タイプ BC を含む)とも曲げひび割れが静的荷重と同様に分散して発生し、終局時に引張側の鉄筋の破断と荷重点間でコンクリートの圧縮破壊が見られた。鉄筋は溶接部で破断していた。重ね継手部で文献¹⁷⁾で指摘されるような引張鉄筋沿いに鉄筋とコンクリートとの付着切れによるコンクリートの割裂破壊は見られなかった。タイプ C の試験体の疲労強度は、接合部のない試験体タイプ N とほぼ同程度で、タイプ A と B の試験体は接合部のない試験体以上の疲労強度を保有していた。

(12) あとがき

溶接鉄筋の使用により現場での配筋作業の大幅な低減が図られる。ただし構造部材としてどこでも使用できる

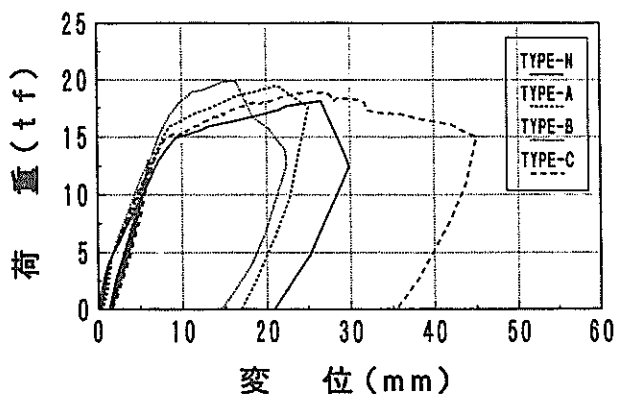


図-6.2.15 荷重-変位曲線 (曲げ試験)

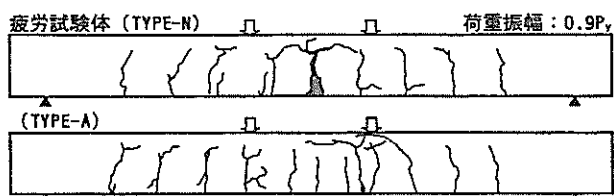


図-6.2.16 ひび割れ発生状況図 (疲労試験)

とは限らない。荷重状態 (発生応力度の状況) や施工状況を考慮して採用すべきである。港湾用ケーソンでも波浪荷重が直接作用する外壁の鉄筋では繰り返し応力による疲労が懸念されており使用には注意が必要である。ただし通常疲労で部材の諸元が決まる例はほとんどなく疲労強度は高いのが通例である。疲労破壊が懸念される場合には、疲労限界状態の検討を溶接強度を考慮して行う、鉄筋の発生応力度を下げる部材設計を行う等の方策がある。繰り返し荷重が小さく疲労がほとんど問題とならない隔壁、側壁、上部工などの部材には現行でも十分適用できると考える。

6.2.2 合成版パネルの力学特性

(1) 合成版パネルについて

合成版パネルは片側が鋼板で一方が鉄筋コンクリートであり、スタッドにより両者と機械的に合成されている。パネルは外壁に用いられ、鋼板がケーソン内側に鉄筋コンクリートが海水側に面している。鋼骨組みは、H 鋼により組み立てられる。ただケーソンの底板は鉄筋コンクリート製である。接合部には、縦目地接合と横目地方向接合とがこのケーソンに存在する。縦目地接合はパネルと鋼骨組みを、横目地接合はパネル同士を接合する。

(2) 接合部の構造

図-6.2.17に縦目地と横目地接合の概要を示す。縦目地構造では、H 鋼のフランジとパネルの鋼板を突き合わせ溶接する。フランジの補強のためガセットを H 鋼に

取り付ける。パネル端部の主鉄筋はスリーブ継手により機械的に連結する。コンクリート打設時の型枠と鉄筋の位置決めと保持の目的で、パネルの周囲に鋼板が溶接されている。主鉄筋はこの鋼板に等間隔に開けられた穴に差し込まれている。フランジとパネル端部の鋼板にスタッドを溶接する。フランジとパネルにより囲まれる部分に充填コンクリートを打設する。充填コンクリートは、打継ぎ目にひび割れが生じないように無収縮な性質を持つものを選定する。膨張剤の使用や無収縮コンクリートの採用が望まれる。また接合部では配筋が複雑でかつ幅が狭いので、コンクリートの締め固めが十分行われない可能性がある。このため流動性の良いコンクリートを用いるのがよい。締め固め不要な高流動コンクリートの採用も選択肢の中にあると考える。一方横目地構造では、片方のパネルから突き出ている主鉄筋を他方のパネルの中のスリーブに差し込む。パネル間にはモルタルを敷き、スリーブ内には高強度のモルタルを注入する。隣接しているパネルの鋼板は、裏当金を介して溶接する。

(3) 接合部の設計計算

現在港湾用のケーソンの接合部は、剛体として取り扱っている。すなわち接合部は、剛体と取り扱えるように隣接部材より強度を高めておく必要がある。今回の接合部では、H 鋼にガセットを取付け、かつ H 鋼のフランジの板厚をパネルの鋼板の板厚より厚くし、充填コンクリートの強度を隣接部材より高くし剛体を確保する。また H 鋼とパネルに溶接したスタッドにより接合部での鋼材とコンクリートとの一体化を図る。以上の仮定により接合部での構造設計として、H 鋼と充填コンクリートとの一体化と、接合部に隣接する部材の曲げ耐力とせん断耐力を照査する。スタッドと充填コンクリートの一体化に関しては、スタッドのコーンせん断破壊、スタッド本体の引張強度及びスタッド溶接部の鋼板の引き抜きせん断耐力の三種類の破壊状況について検討¹⁾する。隣接部材の曲げ耐力及びせん断耐力はパネルを一方向のはりと仮定し、コンクリート標準示方書²⁾に示される方法で算定する。

(4) 載荷試験の方法³⁾

縦目地構造については引き抜き試験、曲げ試験及びせん断試験を、横目地構造については曲げ試験とせん断試験を行う。試験体の総数は、10体である。試験体の概要を図-6.2.18に示す。引き抜き載荷試験の概要を図-6.2.19に示す。引き抜き試験では試験体を反力床に水平に寝かせて設置し、T 形鋼の端部に固定した直径32mm の PC 鋼棒を反力壁に取り付けた。この PC 鋼棒をセンターホールジャッキにより静的に載荷した。曲げ試験及び

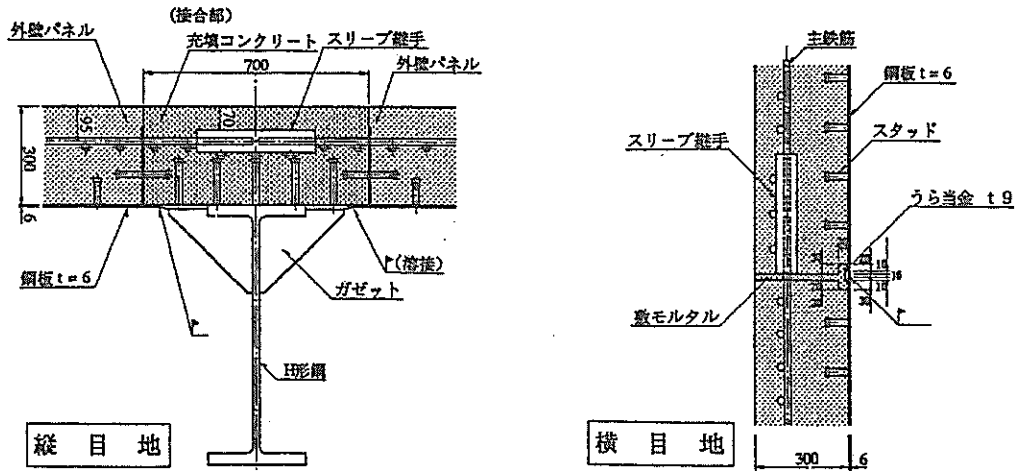
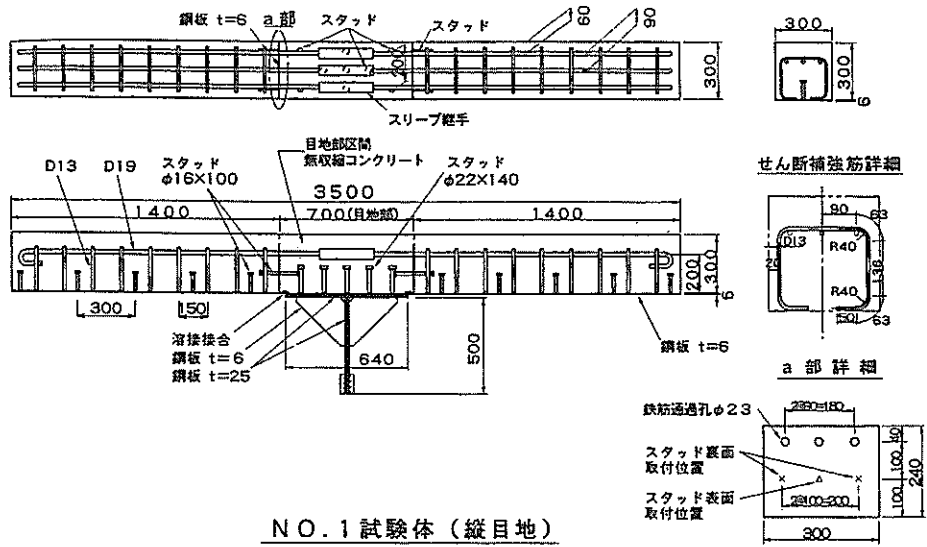
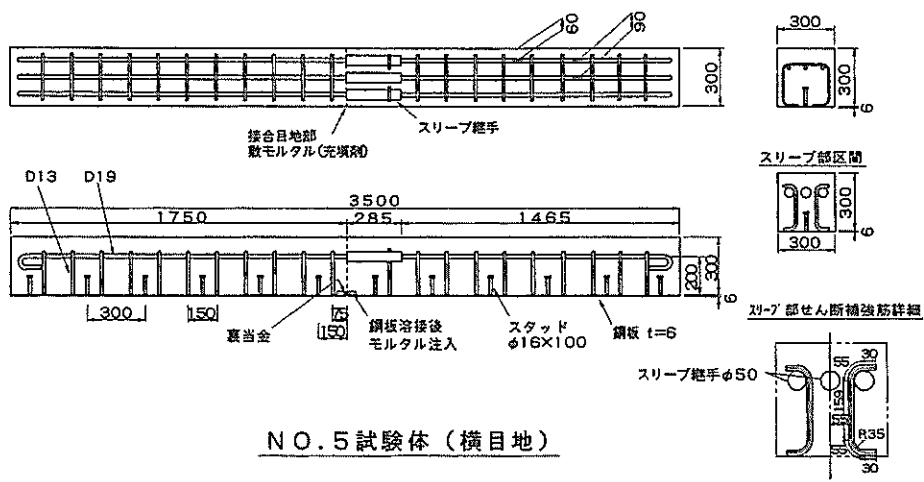


図-6.2.17 目地の構造



NO. 1 試験体 (縦目地)



NO. 5 試験体 (横目地)

図-6.2.18 試験体の構造図

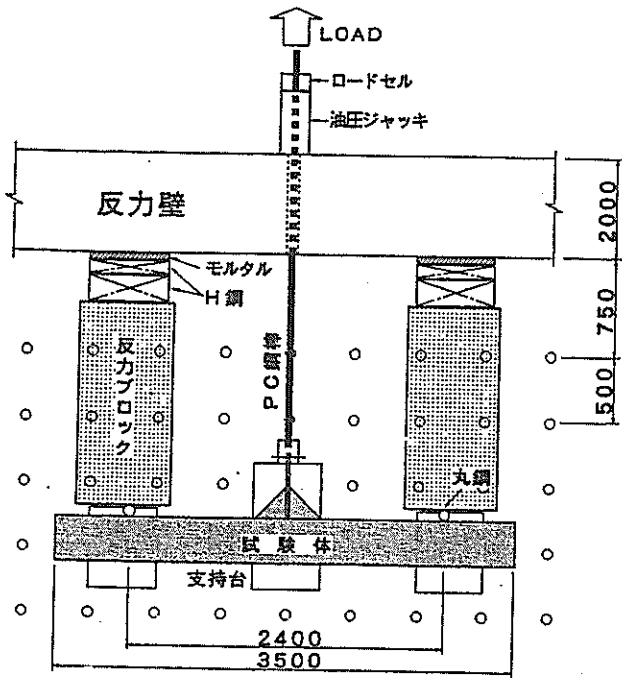


図-6.2.19 引き抜き試験の概略図

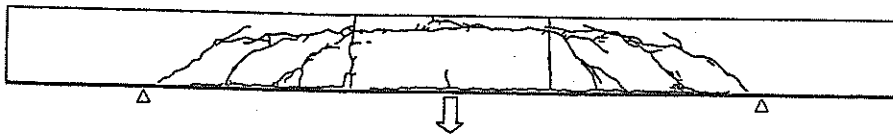
せん断試験は、通常の梁載荷試験機を用いて静的に載荷を行った。載荷は単調増加で行った。

計測項目は、油圧ジャッキの荷重、試験体の変位量、鉄筋、コンクリート表面と鋼板のひずみ及びひび割れ幅である。

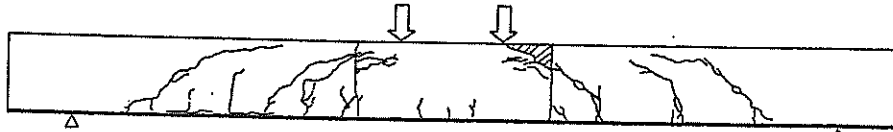
(5) 試験結果

図-6.2.20にひび割れの最終の状況を示す。T形鋼が圧縮側に存在する No.4, No.6, No.8及び No.10 試験体ではいずれも変形が進んでも圧縮側のコンクリートが圧壊することなく高いじん性を示した。これは T形鋼のフランジが圧縮力を負担したからだと考える。横目地構造では、従来の合成梁の力学挙動とほとんど同じであった。機械継手の存在によりこの箇所からひび割れが生じたり、機械継手の抜け出しは生じなかった。

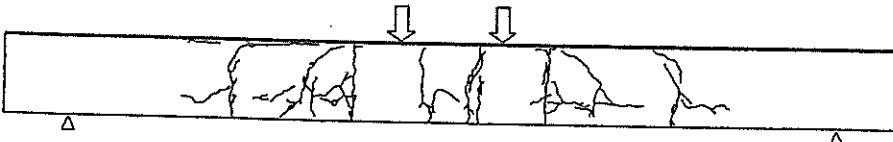
No.1 縦目地 曲げ引き抜き試験



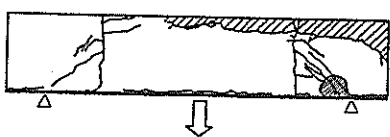
No.3 縦目地 曲げ試験(コンクリート側載荷)



No.4 縦目地 曲げ試験(鋼板側載荷)



No.2 横目地 せん断引き抜き試験



No.7 縦目地 せん断試験(コンクリート側載荷)

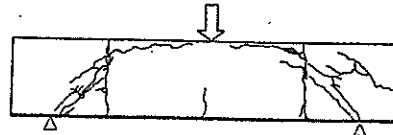


図-6.2.20 ひび割れ発生状況

表-6.2.1 各試験体の計算値

| 試験体 No. | 初期ひび割れ モーメント | 設計抵抗 モーメント | 終局曲げ モーメント | 終局せん断 耐力 | 引き抜き 耐力 | 実験値/ 計算値 |
|---------|-----------------|---------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| | tf-m | tf-m | tf-m | tf | tf | |
| 1 | 1.54 (2.52) | 5.95 (14.5) | 15.10 (36.8) | 25.1 (50.2) | 23.2 | 1.37 |
| 2 | 1.54 (14.0) | 5.95 (54.1) | 15.10 (137.2) | 25.1 (50.2) | 23.2 | 1.47 |
| 3 | 1.54 (2.75) | 5.95 (10.6) | 15.10 (27.0) | 25.1 (50.2) | — | 1.09 |
| 4 | 1.24 (2.2) | 2.40 (4.3) | 5.98 (10.6) | 16.2 (32.4) | — | 1.25 |
| 5 | 1.54 (2.4) | 5.95 (9.2) | 15.10 (23.2) | 25.1 (50.2) | — | 1.05 |
| 6 | 1.24 (1.9) | 2.40 (3.7) | 5.98 (9.2) | 16.2 (32.4) | — | 1.27 |
| 7 | 1.54 (14.0) | 5.95 (54.1) | 15.10 (137.3) | 25.1 (50.2) | — | 0.83 |
| 8 | 1.24 (11.3) | 2.40 (21.8) | 5.98 (54.2) | 16.2 (32.4) | — | 1.06 |
| 9 | 1.54 (5.1) | 5.95 (19.8) | 15.10 (50.4) | 25.1 (50.2) | — | 0.98 |
| 10 | 1.24 (4.1) | 2.40 (8.0) | 5.98 (20.0) | 16.2 (32.4) | — | 1.22 |

() の数字は載荷荷重に換算した値 (tf)
 _____ は試験値と比較した計算値 (設計で対象とする)

(6) 計算値と試験値との比較

表-6.2.1に各試験体の初期ひび割れ荷重、終局曲げモーメント、終局せん断耐力及び引き抜き荷重の計算値を示す。終局曲げモーメントと終局せん断耐力はコンクリート標準示方書に示される方法で計算を行った。ここではコンクリートと鋼材の特性値として材料試験から得られた値を用い、材料係数などの安全係数を1.0とした。ここでは載荷試験での最大荷重と計算された終局曲げモーメント、終局せん断耐力及び引き抜き耐力の最小値(載荷荷重に換算：表中で波線)との比較である。

(7) あとがき

パネル方式の接合部の構造形式には今回対象とした以外にも提案されており、今後これらについても検討を加えたい。パネル方式によるケーソンの建造では、適切な接合方法と施工法の整備が重要である。とくに施工的に容易なことが求められる。

7. 省力化を踏まえた設計施工法の確立

7.1 はじめに

港湾用ケーソンにおいては、既に述べられているように、個別の省力化技術が開発されつつある。このようなパーツとしての技術開発に加えて、今後より一層の省力化を図るためには、省力化をベースとした設計手法および施工法の体系化、およびこれに続くマニュアル類あるいは設計指針(技術基準)の整備が必要であると思われる。設計手法については、言うまでもなく原稿の技術基準類(港湾施設に限った事ではないが)は、施設を1つずつ「手作り」で設計し、極端に言えばミリ単位までの最適化を求めることを念頭に組み立てられている。この

ような枠組みでの設計手法に加えて、例えば部材寸法の規格化や構造細目の見直しなどによる対応を行い、建設材料は増えるものの結果的に設計費用や工事費用が低廉になるような取り組みも必要であろう。しかしながら、現状の省力化技術の下では、具体的なマニュアル類の草案を用意することは時期尚早であるので、ここでは省力化を想定したマニュアル等の整備のあり方についてに試案を述べることにする。

7.2 設計法での取り組み

設計の段階で省力化を考慮するために取り組むべき事項について述べる。

(1) 使用材料および主要部材の標準化・規格化

設計段階からコンクリートの強度、鉄筋の材質等の使用材料の標準化を図る。また、標準化された型枠資材や施工法に基づく部材寸法の標準化・規格化等を計る。

現行の技術基準では、ケーソンの各部材に応じてコンクリートの設計基準強度の標準値が定められており、ケーソン本体では240kgf/cm²、ふたコンクリート等では160kgf/cm²とされている。また、鉄筋についてもSD295あるいはSD345が標準的に用いられている。これらのことから考えると、材料強度の標準化については現状でも十分に対応できている。

部材寸法の標準化・規格化については、具体的には、底版、壁部材などのケーソン部材の基本寸法と強度を数種類あらかじめ設定し、設計者がその中から選択し、所定の基本断面と耐力力が満足されるように設計する。また、隔壁間隔等も同様に考える。現在でも部材厚さや基本寸法についておおまかな標準値(内規)がある。それを発展させて、たとえば基本寸法を1mピッチで設定するなど選択肢を狭めることも考えられる。この手法を採

用すると断面諸量は必ずしも最適にはならないが、型枠の規格化や後述するプレキャスト化を図ることが容易になり、結果的に省力化と経済化が可能となる可能性が高いと思われる。

(2) 鉄筋間隔の標準化

現行の鉄筋コンクリート部材の設計では、想定する断面の耐荷力を計算する手法でその強度な安全性を保証している。つまり、設計者はあらかじめ（あるいは経験的に）鉄筋量を想定して設計に取りかかることとなる。港研で整備しているプログラムライブラリではこの作業をさらに発展させて経済的な断面を与える工夫がされているが、そこでは鉄筋径に応じて鉄筋間隔をあらかじめ数種類設定している。

鉄筋量の標準化を設定することで、部材寸法の標準化と相まって、部材の強度（耐力）が限界状態設計法により計算できる。したがって、設計者は外力に応じて最適な部材を与えられたメニューの中から選定するだけの作業で良くなる。また、鉄筋間隔の標準的値を設定することで、現場での配筋作業の簡略化が期待できるとともに、配筋作業の機械化の導入にも寄与することとなる。

(3) 部材接合部における構造細目の設定

ケーソンの各部材を標準化する場合、部材相互の接合部の構造細目および継手強度の計算をより精緻化しなければならない。とくに、標準化部材をユニット化するようなプレキャスト工法を導入する場合に、このことはより重要な項目となる。その他、鉄筋継手手法の自動化が進展した場合、鉄筋継手位置の決め方、継手手法に応じた強度算定手法の確立など、多くの項目が今後派生するものと思われる。

7.3 施工法での取り組み

ケーソンの施工において省力化を図るには、従来人力によって頼っていた作業を機械化することが、それへの取り組みの一般的な発想であろう。その他にも、工場製品を組み合わせる形式、すなわちプレキャスト工法（ユニット化）で構造物を建造するといった取り組みも考えられる。ここでは、これらの取り組みについて述べる。

(1) 構造物形状の単純化

防波堤ケーソンでは、構造規模に比べて部材厚さが薄いことやハンチあるいはスリット等の設置により複雑な断面となりやすい。そこで、ケーソン自体の形状を単純化し、施工の簡素化を図る。

(2) 構造物のプレキャスト化

プレキャスト製品の採用の拡大、および機械化施工を前提とした製品の大型化あるいは長大化を図る。また、

他品種のプレキャスト製品に対して必要に応じた集約化を行う。

ケーソンは部材厚さに比べて露出面積の大きい構造であることから、コンクリートの締め固め作業が困難となりやすい。ケーソン部材のプレキャスト化を図った場合、コンクリート打設が最も効率的になるようなポジションが選べるため、施工時の欠陥を少なくできるなどの利点も考えられる。

(3) 継手工法の提示と施工管理手法の確立

前述のように、プレキャスト化に伴って、ケーソンの各部材をユニット化し、それを組み立てる形式で構造物を建造することが可能となる。この場合には、部材を接続する手法（および構造細目）を複数提示し、それぞれの特徴、適用範囲、施工管理手法等を提示する。

また、部材のユニット化や寸法の標準化などに伴い、新たな施工法が生まれる可能性もあり、それに対する対応も継続的に必要である。

7.4 まとめ

設計手法における省力化の方向について考えをまとめたが、このような取り組みは港湾局だけでなく、既に建設省では建設省制定土木構造物標準設計について、建設費の縮減の観点から抜本的な見直しを行っている³⁾。たとえば、橋台・橋脚に構造的形状の単純化を図った場合、従来の形状の物に比べて、コンクリート体積は15～20%増大するものの、鉄筋重量は反対に15～20%減少し、加工鉄筋の種類（鉄筋径と形状が異なるものの総数）は約30～40%も減少する試算結果が報告されている。その結果、建設コストが2～5%減少（労務工数の低減具合からの評価）する結果となる。また、このような標準化とともに設計・積算作業の迅速化や設計の高品質化を図るためにコンピュータを用いた標準設計システムも検討されている。そのイメージを図-7.4.1に示す。

構造形状の単純化で考えると、ケーソンの場合は橋脚等と比べると形状が単純なため、このような顕著な違いが現れない可能性が高い。しかし、わずかとはいえ、労務工数の低減につながることは十分に考えられ、今後の施工の自動化とともに十分な取り組みが待たれるところである。港研設計基準研究室では平成8年度より港調費を用いて、港湾構造物での標準設計のあり方についての研究を実施している。

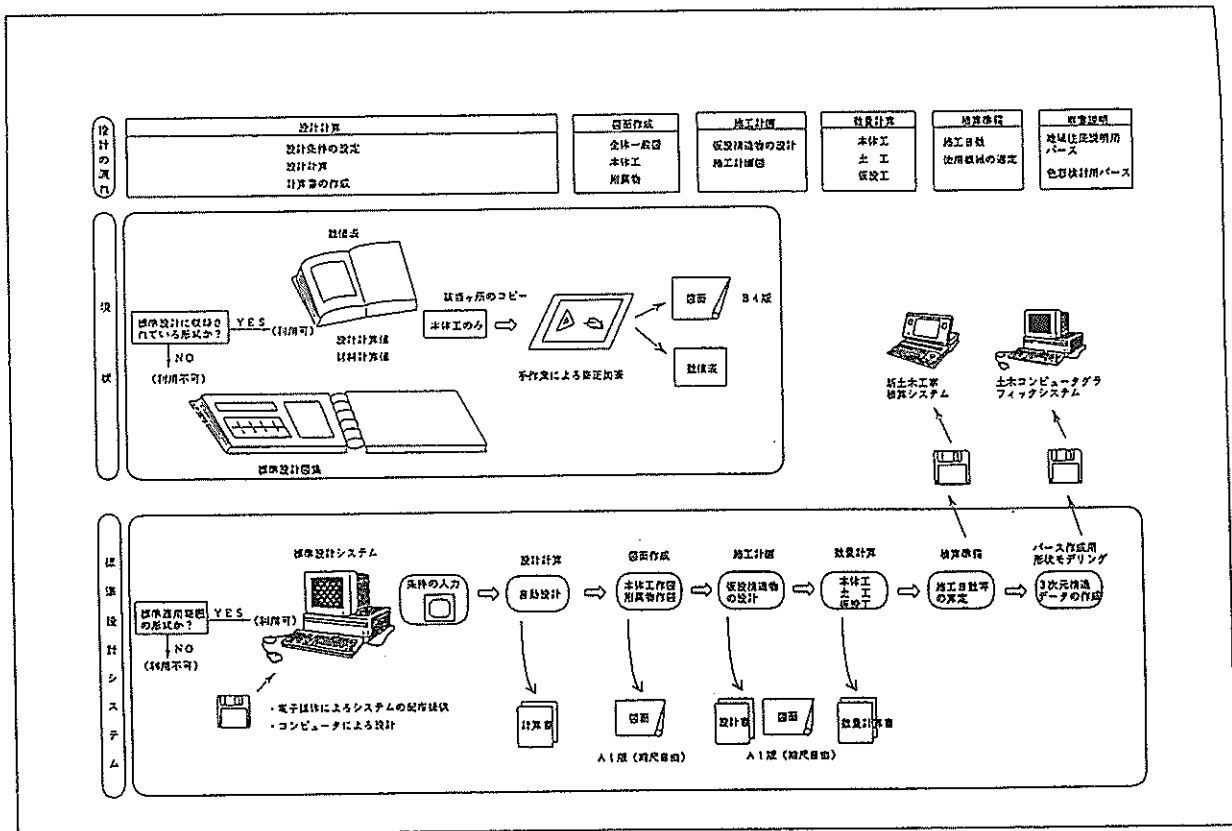


図-7.4.1 「新標準設計システム」の支援内容のイメージ

8. 省力化施工技術と機械化

本資料で紹介してきたケーソン製作の省力化施工技術は、それぞれケーソン単体の施工を試験的に行ったものである。今後、より一層の省力化を図るには、機械化できる部分については機械化する必要があると考えられる。そこで、将来的に施工の機械化を考えた場合、一連の施工工程の中で、どの部分を機械化すればより省力化を図れるかを、プレキャストケーソン、パネルシステムケーソン、鉄筋ユニット工法を例に考察した。

(1) プレキャストケーソン

本工法では、プレキャスト部材を隔壁に限定した場合、部材の建て込み自体は単純な繰り返し作業となると想定できる。したがって、特に大型のケーソンを製作する場合には、側壁部に天井クレーンを設置することにより、建て込み作業の迅速化を図れる可能性がある。この場合、吊り荷重はケーソンのサイズに左右されず、あくまでも隔壁部材重量で決まるため、ジブクレーンよりも小規模な設備で可能であると考えられる。ただし、側壁部が隔壁を吊り上げた状態での天井クレーンの支持を可能とする強度を持つか検討しなければならない。

さらに本工法のプレキャスト部材は単純な鉄筋コンクリート版の製作作業となるため、集中生産を行う場合には自動配筋装置等を含んだシステムにより自動化を推し進めることができよう。

(2) パネルシステムケーソン

本工法はケーソンの全ての部材にわたってプレキャスト化を図っている。このため、部材工場における集中生産を行う場合に有利である。特にコンクリートと鋼板のハイブリッド化がなされる前の鋼板に溯った生産設備の思考が必要となる。

本工法で用いる鋼板は曲面加工は不要であるが、鋼板の製作精度が現場での建て込み時に重要となるため、歪みの小さな溶接加工を行うシステム開発により工場での溶接工の省力化を図れる。また、コンクリートの打ち込みは平置きで行うことから、適切な管理システムにより、打ち込み・養生の機械化が可能であると考えられる。

現場施工に関しては、鋼板の溶接について適切な治具を開発する余地があると考えられる。

(3) 鉄筋ユニット工法

鉄筋組立時の交点結束作業は、現状では手作業で行っているため、手間と時間がかかっている。そこで、この作業を自動的に行うことができるようにする。これによ

り、作業に要する時間及び就業員数を短縮することができる。

鉄筋ユニットの製作作業を自動化する場合のイメージを図-8.1.1に示す。鉄筋ユニットを製作する時の姿勢は、立てた状態、すなわち鉄筋ユニットを地面に対して垂直な状態で製作する方法が適切である。なぜならば、鉄筋ユニットを寝かせた状態で製作する場合、製作したユニットを立て上げる必要が生じる。このときにユニットが変形する可能性があり、このことを防ぐために複雑な機構が必要となり現実的ではないためである。

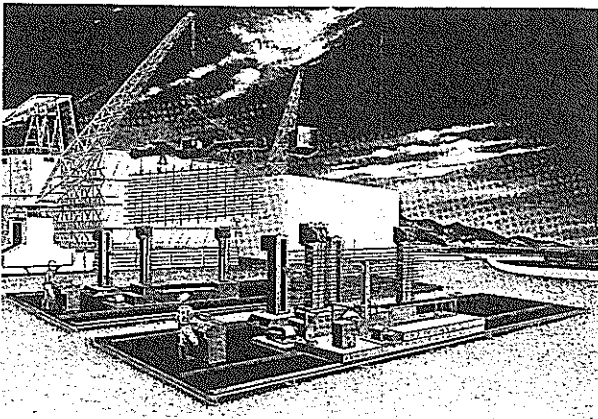


図-8.1.1 鉄筋ユニット自動製作装置のイメージ

次に、鉄筋の結束方法であるが、これには、結束線、接着剤、バネ等による交点固定と、溶接による交点固定の2種類が考えられる。前者は、鉄筋の材質への影響がない反面、ユニットの形状保持が難しい。後者は、ユニットの形状保持が容易である反面、鉄筋の材質の変質が起きやすい。

さらに、機械化に適した配筋を考えると、交互に配筋したり、ランダムに配筋することは作業効率上望ましくないと考えられる。したがって、配筋順序としては水平鉄筋→垂直鉄筋と、垂直鉄筋→水平鉄筋の2方法に限定することができる。前者は、結束中は垂直鉄筋を保持する必要があるが、全点結束する必要はない。後者は、水平鉄筋が長くなるほど水平鉄筋の保持機構が大型化する。

また、動作を少なくするためには配筋を先に行いその後で結束作業を行うことが効率的と考えられる。

(4) 機械化施工への課題

機械化を行うためには必ず、設備投資といったコスト上不利な要因が持ち上がってくるのが避けられない。したがって、大掛りな自動化を行う場合には設計の標準化や施工数量の多量化が無い場合は不利である。

本資料で紹介した施工法の中では、こうしたことから

鉄筋ユニット工法の自動化が最も現実的であると考えられる。また、対象ケーソンを限定しないため現状の条件のままでもかなり活用される可能性を持っている。

しかしながら、本格的にケーソン製作を自動化していくためにはプレキャストケーソンやパネルシステムケーソンのような試みが必要であろう。この場合集中生産が可能となる環境整備が必須である。これら二つの工法をトータルの省力化効果を比較せずに、工法自体の機械化の容易さを考察すると、現状ではプレキャストケーソンの方が自動化への道程が短いと思われる。

自動昇降型枠や高流動コンクリートの活用は、機械化施工において人間が行う複雑な手作業の部分を補助、あるいは一気に払拭してしまえることができる。しかしながら、工程管理を厳しく行うことができなければ、これらのもつ時間短縮効果は発揮することができない。特に高流動コンクリートは現場の時間管理、配合の管理に十分な配慮が必要となる。

コスト的に見た場合、機械化は必ずしも有利とならないが、注目すべきは安全性の向上である。プレキャストケーソン及びパネルシステムケーソン双方ともに高所作業が減少しており、工場生産部分に現場施工を移すことで、労務管理を容易にできる。こうした視点からも省力化、機械化について考察していく必要がある。

9. あとがき

本資料で紹介してきた省力化施工技術の中に、就業員数は従来の施工法と変わらないが、その内訳をみると、熟練作業員数は確実に減少している施工法が存在する。

熟練作業員の育成にはかなりの年数を要するもので、非常に大変なことである。

従来工法では、熟練作業員不足で工事が進まない状況に陥ったとしても、省力化施工技術を用いれば、極論であるが、昨日現場就労したばかりの初心者でも、数時間で作業のコツがつかめ、熟練労働者不足をカバーできるようになる。これは、非常に大きな成果であると言えるのではないだろうか。

現在の省力化施工技術は、開発段階、実証試験、試験的な採用の段階である。これからより一層、施工の省力化を図るには、施工の機械化・自動化を進めていく必要がある。このためには、施工工程のどの部分が機械化・自動化に適しているかを見極めなければならない。

(1998年3月31日受付)

10. 謝辞

本資料のとりまとめに当たっては、運輸省港湾局、各港湾建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局、及び港湾技術研究所の関係者で組織された「省力化施工法の開発ワーキンググループ」でとりまとめられた成果の一部を活用させて頂いた。

本資料中で5.2のプレキャストケーソンについては第一港湾建設局新潟調査設計事務所、5.3のパネルシステムケーソンについては第二港湾建設局横浜調査設計事務所、5.4の鉄筋ユニット工法によるケーソン製作及び5.5の自動昇降型枠技術の開発については第二港湾建設局横浜機械整備事務所、6.1の高流動コンクリートについては第三港湾建設局神戸調査設計事務所、6.2の省力化部材の力学特性については港湾技術研究所構造強度研究室、7章の省力化を踏まえた設計施工法の確立については港湾技術研究所設計技術研究室にそれぞれ「省力化施工法の開発ワーキンググループ」の討議用に執筆して頂いた原稿を基にしており、全体の編集整理を筆者らが行ったものである。関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 吉田正：建設工事の無人化・自動化、下部工事の無人化・自動化技術講習会講演資料、1994、土質工学会、pp. 2~3
- 2) 渡部幸浩ほか：建設機械、372号、1996年2月、pp. 63~68
- 3) 笠井和弘ほか：建設機械、379号、1996年9月、pp. 7~11
- 4) コマツ：KOMATSU PROFILE (パンフレット)、1992、pp. 22~23
- 5) 神崎正ほか：建設機械、353号、1994年7月、pp. 28~33
- 6) 土木学会：コンクリート・ライブラリー第49号、鉄筋継手指針、1982年2月、pp. 17~19、pp. 75~85、pp. 172~175
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、pp. 30~32、平成3年度版
- 8) 土木学会：鉄筋継手指針、コンクリート・ライブラリー第49号、昭和52年
- 9) 河野広隆、森濱和正：ユニット鉄筋導入による施工合理化技術、土木技術資料、36-1、1994. 4
- 10) 佐竹次男：場所打ち杭の鉄筋かご（被覆アーク溶接が鉄筋の材質に及ぼす影響）、建築技術、pp. 211-213、1990. 5
- 11) 丹野弘ほか：点溶接した鉄筋の力学特性、土木学会第42回年次学術講演会、pp. 524-525、昭和62年9月
- 12) 清宮理、藤澤孝夫：ウエルドメッシュ筋（溶接鉄筋網）の基本的な力学性状、コンクリート工学協会、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17, No. 2, pp. 17-22, 1995
- 13) 藤澤孝夫ほか：アーク溶接鉄筋網の力学特性、土木学会第50回年次学術講演会（第6部門）、1995. 9、pp. 400-401
- 14) 藤澤孝夫、清宮理：溶接鉄筋の物理試験と溶接鉄筋網を用いたコンクリート梁接合部材の力学特性、港湾技研資料 No. 847, 1996. 9
- 15) 小林肇ほか：プレキャスト部材の接合目地部における鉄筋の重ね継手に関する研究、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp. 421-260, 1982. 6
- 16) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成3年度版）設計編、pp. 50-68, 1991. 7
- 17) 出雲淳一ほか：各種鉄筋継手の集中度がRC梁の疲労特性に及ぼす影響、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp. 257-260, 1981. 6
- 18) 清宮理、山田昌郎：合成部材を用いた港湾用ケーソンの接合部の構造と設計、混合構造の力学挙動と設計施工に関するシンポジウム、pp. 43-48, 1992. 4
- 19) 横田弘、清宮理：鋼コンクリートハイブリッドはりの力学特性に関する研究、土木学会論文集、No. 451/V-7, pp. 149-158, 1992. 8
- 20) 清宮理ほか：合成版パネルを用いた港湾用ケーソンの接合部載荷試験、構造工学論文集、vol. 40A, pp. 1389-1400, 1994
- 21) 光屋康夫ほか：建設省における土木構造物の設計標準化について一標準設計の見直しとシステム化一、第13回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集、土木学会、1995年12月、pp. 111~116

港湾技研資料 No. 903

1998・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行人 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社ポートサイド印刷

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1998) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。