

# 港湾技研資料

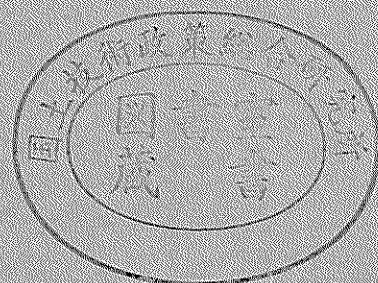
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 717      Dec. 1991

鋼・コンクリート合成部材の接合部の耐力特性

清 宮 理

運輸省港湾技術研究所



## 目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 研究の背景	4
2.1 既往の接合部の設計	4
2.2 合成構造物の接合部	5
3. 載荷試験	6
3.1 試験体の構造	6
3.2 使用材料	10
3.3 試験方法	10
3.4 計測項目	11
4. 載荷試験の結果	14
4.1 破壊形態	14
4.2 ひずみの性状	19
4.3 ひびわれの性状	21
5. 考 察	23
5.1 接合部の既往計算法との比較	23
5.2 ひびわれ幅	25
6. ま と め	26
参考文献	27

# Mechanical Properties of Connection of Steel-Concrete Hybrid Members

Osamu KIYOMIYA\*

## Synopsis

To establish the design method of steel-concrete hybrid members in port and harbour facilities, mechanical properties of L-shaped and T-shaped connections between hybrid members have been studied. A few kinds of connections are adopted for sandwich members and open sandwich members. Static loading tests are carried out for these connections. From test results, followings are made clear. Steel in tensile side should be anchored at compression part of steel or concrete for L-shaped connection and shearing reinforcements play important role in ultimate strength and cracks.

**Key words :** Composite member, Connection, Loading tests, Structural details

---

\* Chief of Structural Mechanics Laboratory, Structural Engineering Division

# 鋼・コンクリート合成部材の接合部の耐力特性

清 宮 理\*

## 要 旨

鋼板とコンクリートとを合成したハイブリッド部材の接合部の構造細目を設定するためにL形およびT形の各種接合部を対象に載荷試験を実施した。試験体の総数は、14体である。載荷試験では、静的に繰返し荷重を接合部に加えた。この際の破壊性状、耐荷力、ひびわれの進展などを調べた。載荷試験の結果、引張り鋼材を確実に定着させることとせん断補強をすることが重要で、接合部での鋼材の設計は、曲げによる引張り力とせん断力の合計に対して行なえば良いことが分った。

キーワード：合成構造、接合部、載荷試験、構造細目

## 1. まえがき

鋼材とコンクリートとを合成した合成構造は、両材料のそれぞれの長所を生かし、短所を補い合う構造様式である。ケーソン式防波堤や沈埋トンネルなどの港湾構造物は、従来鉄筋コンクリート構造で建設されてきたが、これらの構造物への合成構造の採用が検討されている。

合成構造の採用により、力学的性能の向上、水密性の確保、型枠・支保工の簡略化などが期待できる。

合成部材の採用にあたっては、部材の力学特性や耐久性などを十分に把握して海洋環境を反映した設計体系を整備していく必要がある。図-1に示す合成構造による

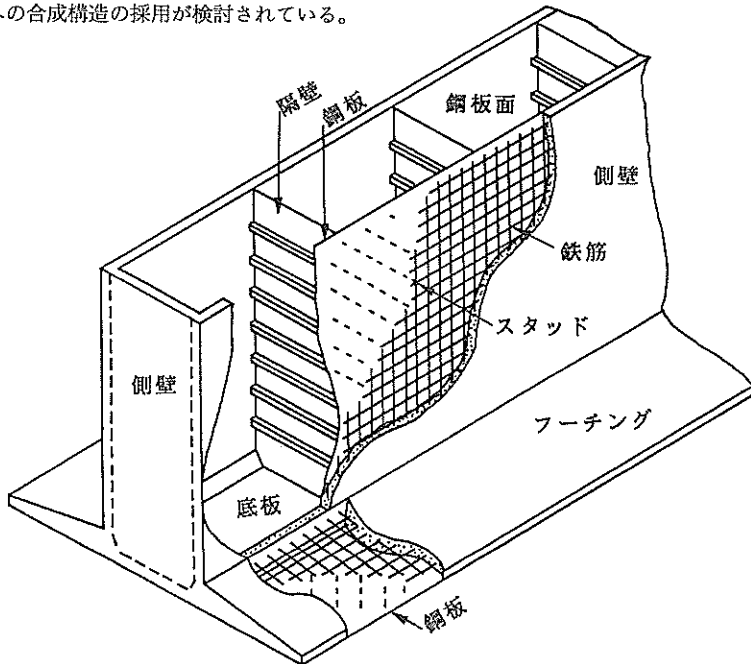


図-1 合成構造による防波堤ケーソン

\*構造部 構造強度研究室長

防波堤ケーソンでは、スタッドジベルあるいは形鋼をずれ止めに用いて鋼板と鉄筋コンクリートとを合成する。この合成部材のはりにおけるずれ止めの耐荷力<sup>7)</sup>、静的荷重下での力学特性<sup>23)</sup>および繰返し荷重下での疲労特性<sup>24)</sup>などの基礎的な力学特性については既に明らかにされている。これら構造部材の力学特性の把握とともに、部材同志の接合部の力学特性の検討も行う必要がある。この接合部では鋼板同志の溶接が可能であるため、従来の鉄筋コンクリートの接合部と異なる補強方法を採用できる。また、合成構造物のプレハブ化施工などの観点からも、接合方法の確立は重要である。

鋼・コンクリート合成構造での接合部の耐力・変形特性などを把握するために、図-2でのL形およびT形接合部を対象に、波浪による波圧や中詰め土の土圧などによって曲げが作用する場合を想定して、模型試験体を用いた静的載荷試験を行った。T形試験体は、防波堤ケーソンの隔壁と外壁との接合部あるいは沈埋トンネル函体での中仕切り壁と底版との取付け部などを対象としている。L形試験体は、防波堤ケーソンの隅角部などを対象としている。

## 2. 研究の背景

### 2.1 既往の接合部の設計

鉄筋コンクリート部材の接合部（隅角部）の基本的な設計方針は、以下のとおりである。

- ① 接合部の強度は、隣接する部材（母材）の強度と同程度以上とする。
- ② 接合部では、曲げモーメント、せん断力、軸力を滑らかにかつ十分伝達できる構造とする。

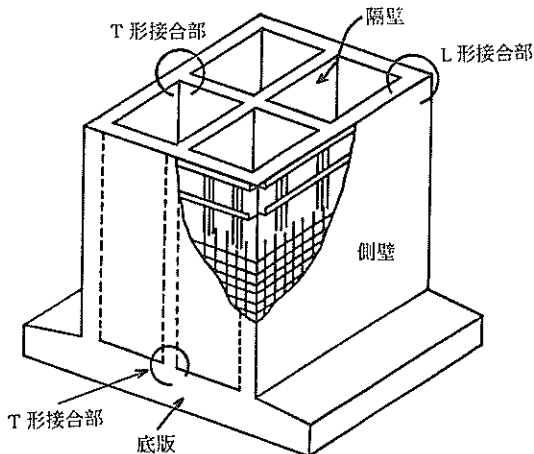


図-2 防波堤ケーソンでの接合部

- ③ 配筋、コンクリート打設、鋼材の溶接などの作業が、容易に行なえるように簡単な構造とする。
- ④ 接合部では、構造物の崩壊時まで十分な変形能力と回転能力を保持させ、接合部での破壊を先行させない。
- ⑤ 接合部に生じるひびわれ幅は、母材おけるそれと同程度以下とする。
- ⑥ 接合部には、ハンチを取り付けるのを原則とするが、設計時には、ハンチの存在を無視して通常計算を行なう。

接合部内の応力の研究は、福田<sup>9)</sup>によりなされた。ここでは、接合部を解析的に平面応力問題として解き、端部に曲げ、せん断および軸力を受けるときの応力分布や応力集中を求めた。その後光弾性実験で理論式の妥当性とハンチの影響が検討された。Nilsson<sup>25)</sup>らは、鉄筋コンクリートの接合部での載荷試験により、適切な接合部の補強方法や定着方法を提案した。津野<sup>26)</sup>らは、接合部内の応力度の分布を図-3に示すように提案し、この応力度がコンクリートの引張り応力度を超えるときは、引張り鉄筋で補強することとした。また図-4に示すように、応力度がコンクリートの引張り応力度を超えるとき、鉄筋でせん断補強する提案式を提示した。これらの一連の研究により、接合部での補強方法の構造細目と設計式が、主に橋梁橋脚のラーメン構造を対象に決められた。

一方、合成構造の接合部に関する検討例は、極く限られている。上田<sup>9)</sup>は、幾つかの隅角部の構造に対して基本的な力の伝達を実験的に解明した。ここでは、引張り鋼材の定着法とせん断キーによる圧縮力の伝達機構を調べた。また綿引<sup>10)</sup>及び筆者ら<sup>11)12)</sup>も隅角部に関し実験的に検討を行ない防波堤ケーソンに適用できる構造細目を提案している。これらの研究の他には、国内では検討例がない。

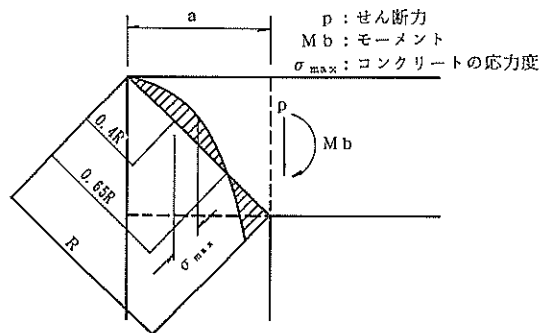


図-3 接合部内の応力分布

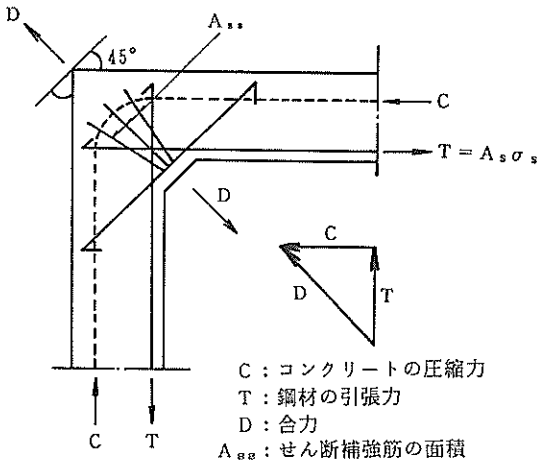


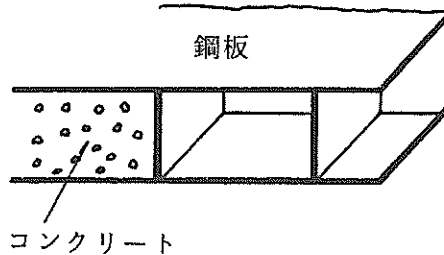
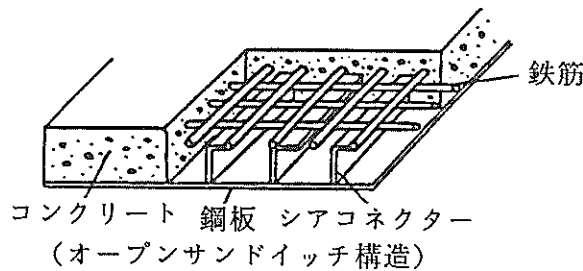
図-4 接合部対角線での応力分布

## 2.2 合成構造物の接合部

合成部材の形式は、図-5 に示すようにオープンサンドイッチ構造とサンドイッチ構造の2種類がある。オープンサンドイッチ構造は、片側が鋼板で他方が鉄筋コンクリートで合成される部材で、両材料はジベル（せん断キー）により力学的に結合している。ジベルとしては、形鋼やスタッドジベルなどが用いられる。サンドイッチ

構造は、両面が鋼板で内側がコンクリートで合成されている部材で、両鋼板は、せん断補強を兼ねた鋼材で結合されている。これらの合成部材を用いて防波堤ケーソンや沈埋トンネルなどの港湾構造物が建設される。図-2 に合成部材による防波堤ケーソンの構造の概略を示した。この例ではオープンサンドイッチ構造が用いられている。側壁と隔壁間に、T形接合部が、側壁同志にはL形接合部が存在する。防波堤ケーソンに作用する主たる外力は、波力である。この波力が防波堤ケーソンに作用するとき接合部に曲げモーメントとせん断力が加わる。この状況を図-6 に示す。波の峰が防波堤ケーソンに到着したとき接合部が閉じる方向に外力が加わる。この状態を正曲げとする。接合部の内側に圧縮力が、外側に引張り力が生じる。波の谷が到着したとき、ケーソン内部の中詰土の土圧や水圧により逆に接合部が開く方向に外力が加わる。この状態を負曲げとする。接合部の内側に引張り力が、外側に圧縮力が生じる。

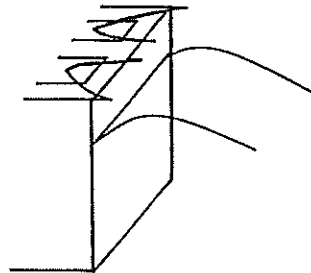
合成構造物の基本的な接合方法は以下のとおりと考えられる。オープンサンドイッチ構造の接合部では、2枚の内側の鋼板は溶接により連結する。鉄筋コンクリート内の主鉄筋は、従来の鉄筋コンクリート部材と同様に鉄筋を接合部内で折曲げて隣接する他の部材内に定着させる。サンドイッチ構造の接合部は、内側と外側の鋼板を



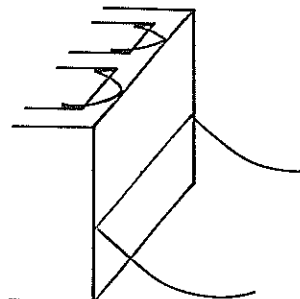
(サンドイッチ構造)

図-5 合成部材の形式

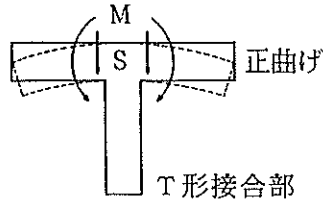
曲げモーメントの分布



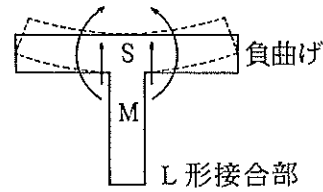
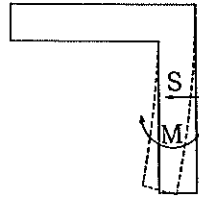
波圧作用時



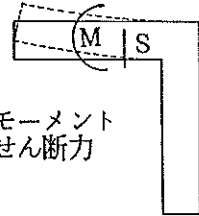
引波時



T形接合部



L形接合部



M: モーメント  
S: せん断力

図-6 接合部に作用する外力の状況

それぞれ溶接により連結する。このような構造形式で前述した接合部での構造的な条件が満足されるか確認されていない。

合成部材の接合部の設計法については、これまでほとんど検討されていない。合成構造物の接合部に関しては、2種類の設計法が考えられる。一つは、接合部を剛域とみなせるように補強し、既往の曲げ耐力の設計式<sup>13)</sup>を適用して、部材の設計を行う方法である。他方は、接合部自体の耐荷力を評価し、部材と接合部を一体化して設計する方法である。今回は、前者の考え方を基に考察を行う。つまり、剛域の確保に必要な鋼材量の算定方法を検討するものである。これは、従来の鉄筋コンクリート構造物の設計での考え方を踏襲するものである。

### 3. 載荷試験

#### 3.1 試験体の構造

試験体は、オープンサンドイッチ構造およびサンドイッチ構造の接合部をモデル化して、L形接合構造（隅角部）およびT形接合構造の2種類とした。試験体の一覧を表-1に示す。L形試験体が10体、T形試験体が4体の総数14体である。L1からL5試験体とL6からL9試験体とはそれぞれ同一である。接合部の基本的な力学特性を調べることを目的としているので、特にハンチは設けず、施工の容易な簡易な補強を施したものを載荷試験の対象とした。以下に各試験体の構造について述べる。

##### ① L形試験体の構造

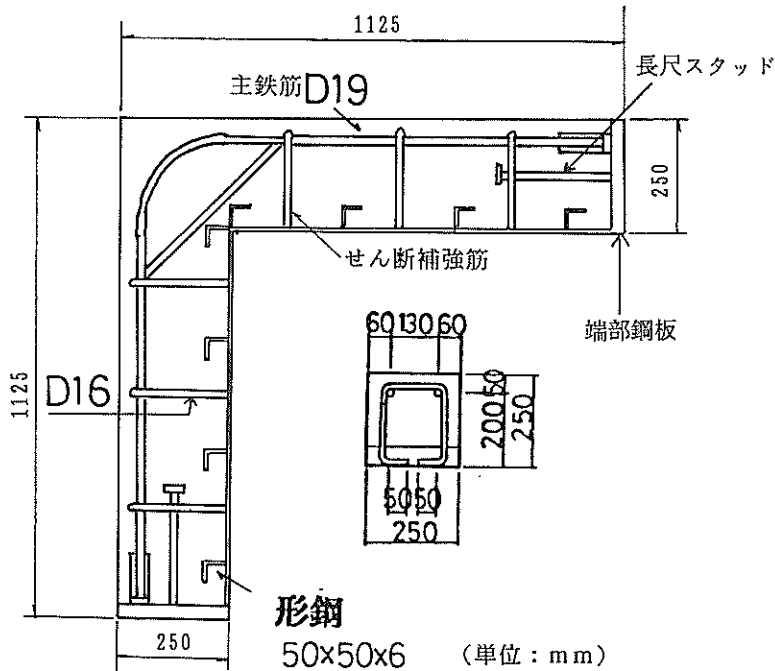
L形試験体の種類は、オープンサンドイッチ構造が接合部内の補強の方法を変えて2種類、サンドイッチ構造

表-1 試験体の一覧

	接合形状	部材の種類	補強筋の有無	荷重方法
L-1	L型	オープン	無	負曲げ
L-2	〃	〃	有	〃
L-3	〃	サンドイッチ	無	〃
L-4	〃	〃	有	〃
L-5	〃	〃	有・スタッド	〃
L-6	〃	オープン	無	正曲げ
L-7	〃	〃	有	〃
L-8	〃	サンドイッチ	無	〃
L-9	〃	〃	有	〃
L-10	〃	〃	有・スタッド	〃
T-1	T型	オープン	無	交番
T-2	〃	〃	有	〃
T-3	〃	サンドイッチ	無	〃
T-4	〃	〃	有	〃

が同じく補強の方法を変えて3種類の合計5種類である。基本断面寸法はすべての試験体とも同一で、幅 25 cm, 高さ 25 cm, 部材長さ(はり部分の長さ)87.5 cmとする。また荷重点となる試験体の両端部には、板厚 32 mmの鋼板を配置するとともに、長尺スタッド(D 16, 長さ 250 mm)を用いて補強する。

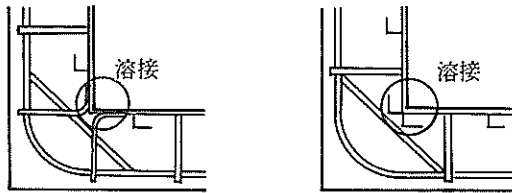
オープンサンドイッチ構造のはり部分の構造は、図-7に示すように接合部の内側が鋼板で外側が鉄筋コンクリート構造である。オープンサンドイッチ構造では、L1試験体が基本タイプである。鋼板の板厚は、6 mmである。鉄筋コンクリート部分には、D 19の鉄筋が2本配置されている。鋼材のかぶりは、50 mmである。この主鉄筋は、接合部内でR=220 mmで円弧状に曲げられている。また主鉄筋は、はり端部の鋼板に溶接されている。鋼板と鉄筋コンクリートとは、L 50×50×6の形鋼を25 cm間隔に配置して機械的に合成する。またはり部分に、D 16の鉄筋をせん断補強筋として25 cm間隔に配置する。このせん断補強筋は、鋼板に溶接されている。オープンサンドイッチ構造の試験体での接合部の補強方法すなわち鋼材配置の詳細を図-8に示す。接合部の補強としてD 16の鉄筋を折曲げて接合部内に斜に配置する。この鉄筋は、



L1 試験体

図-7 オープンサンドイッチ構造の概略





L 2 試験体  
L 1 試験体  
図-8 オープンサンドイッチ構造の接合部の補強法

はり部材内に 450 mm まで挿入されている。L 2 と L 7 試験体は基本タイプに加えて、接合部内に D 16 のせん断補強筋を鋼板に溶接して補強する構造である。

一方、サンドイッチ構造では、図-9 に示すように板厚 6 mm の鋼板をはり部材の両面に配置し、25 cm 間隔に中空の鋼板をせん断補強とずれ止を兼ねて配置する。中空の鋼板の板厚は、6 mm で幅 184 mm、高さ 138 mm に鋼板をくりぬいてある。サンドイッチ構造の試験体では、板厚 6 mm の鋼板を L 1 試験体でのせん断補強鉄筋と有効せん断抵抗面積が等しくなるように加工する。この試験体の接合部での構造を図-10 に示す。L 3 と L 8 試験体が基

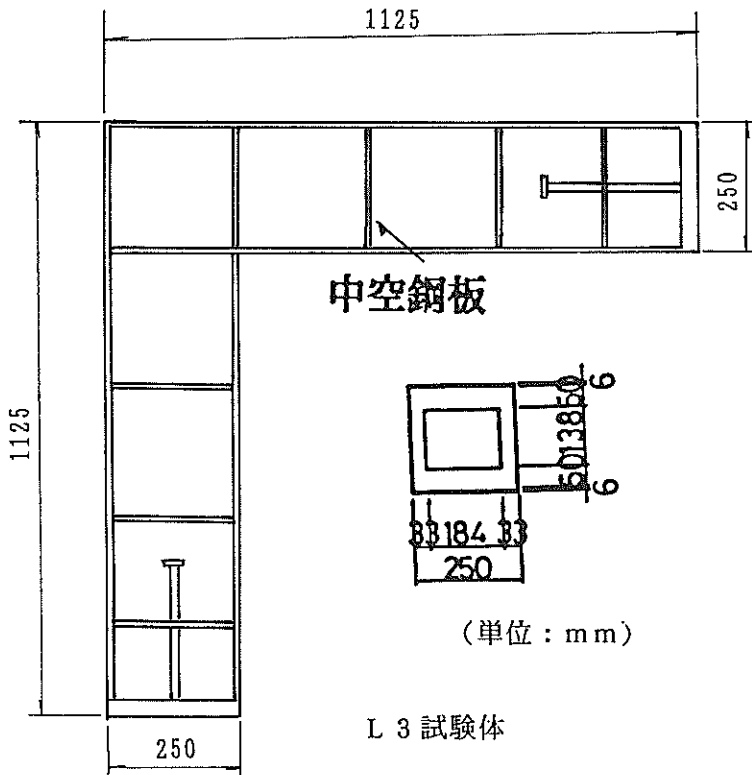


図-9 サンドイッチ構造の概略

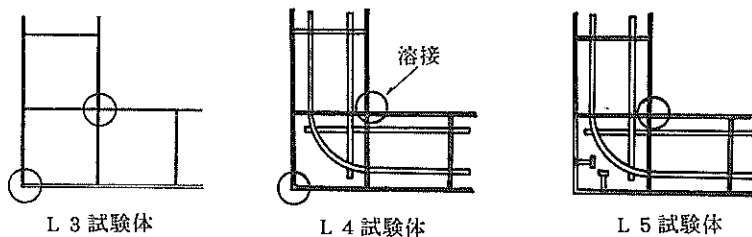


図-10 サンドイッチ構造の接合部の補強法

本タイプである。L 4 と L 9 試験体は、基本タイプに加えて、接合部を D 16 の鉄筋 4 本で補強した構造である。2 本は、 $R=200$  mm で曲げてある。他の 2 本は、長さ 516 mm で直線である。これらの鉄筋は、鋼板に溶接していない。L 5 と L 10 試験体は、これら補強鉄筋に加えて接合部にスタッド（直径 16 mm、長さ 70 mm）4 本を接合部外側の角より 100 mm の箇所に設けた構造である。

② T 形試験体の構造

T 形試験体の構造を図-11 に示す。はり部分の寸法は断面が  $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  の矩形で長さが 2,000 mm、柱部分が同様に  $250\text{ mm} \times 250\text{ mm}$  の矩形で高さが 1,000 mm である。試験体の種類は T 1 ~ T 4 の 4 種類である。T 1 および T 2 試験体は、はり部分が片側に板厚 6 mm の鋼板を設けたオープンサンドイッチ構造で、柱部分が両側に 6 mm の鋼板を取り付けたサンドイッチ構造である。鋼板とコンクリートの合成には辺長 50 mm、板厚 6 mm の L 形鋼をずれ止めとして用いる。ずれ止めは 250 mm 間隔で鋼板にすみ肉溶接する。また、コンクリート縁より 50 mm の位置に D 19 の鉄筋 2 本を配筋する。さらに、せん断補強として D 16 の鉄筋をスターラップ状に加工して鋼板に溶接する。

一方、T 3 および T 4 試験体でははりと柱部材の両表面に鋼板を設けたサンドイッチ構造である。ずれ止めとせん断補強とを兼ねる目的で D 16 の鉄筋とせん断抵抗断面積が等しくなるように中空加工した鋼板を 250 mm 間隔で両鋼板に溶接した。

次に各 T 形試験体の接合部の構造について述べる。T 1 試験体は、はり部の鋼板と柱部の鋼板をすみ肉溶接した接合構造で接合部内の補強を特別していない。T 2 試験体は、T 1 試験体に、柱部から鉄筋 (D16) をはり部の主鉄筋に巻くように補強した接合構造である。この補強筋の柱部の定着長は、300 mm である。T 3 試験体は、はり部の鋼板と柱部の鋼板をすみ肉溶接した接合構造である。T 4 試験体は T 3 試験体に、柱部分からはり部分に通した鉄筋 (D16) により補強した接合構造である。 $R=200$  mm に曲げた D 16 の鉄筋 4 本を柱部材とはり部材に定着長 300 mm で接合部内に配置する。また長さ 850 mm の D 16 の鉄筋をはり部分に配置し接合部を補強する。今回検討した接合構造は、ハイブリッド部材の特長を生かして、鋼板同志の溶接を接合の基本としている。しかし、鉄筋などによる補強が必要である場合も考えられ、T 2 およ

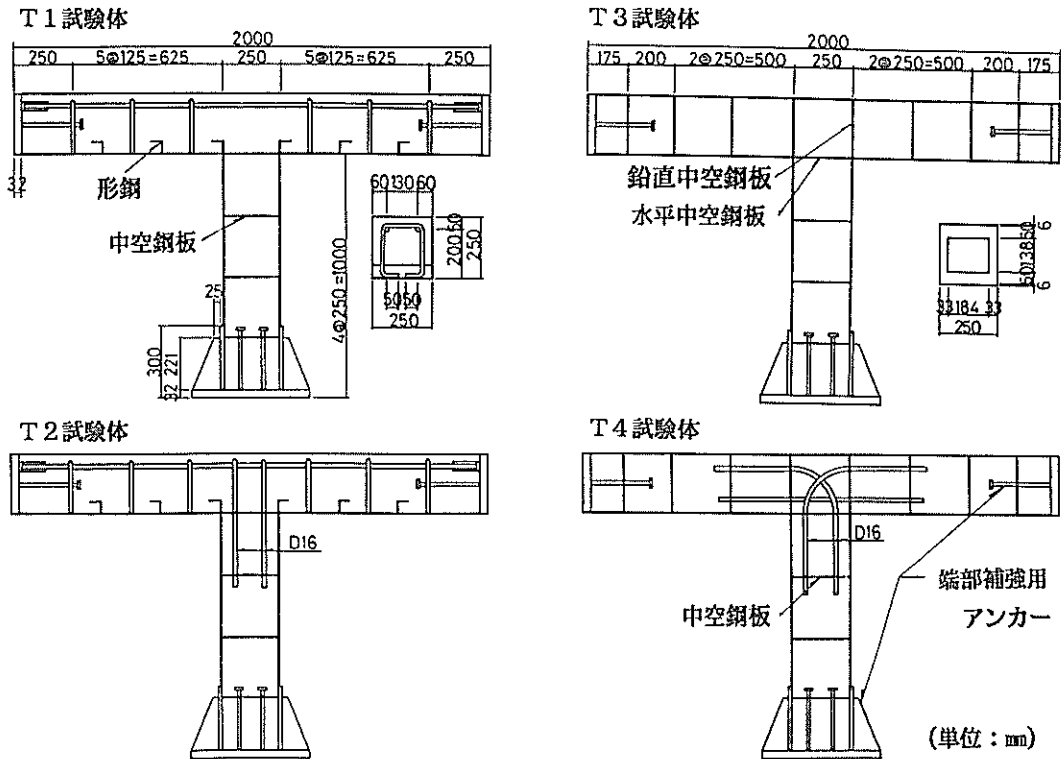


図-11 T 形試験体の構造

びT 4 の構造を検討する。

### 3.2 使用材料

試験体製作に使用したコンクリートの材料は、セメントが普通ポルトランドセメント、骨材が最大寸法 20 mm の砕石および砕砂である。配合を表-2 に示す。コンクリートの配合は、水・セメント比が 0.44、細骨材率が 0.41 である。コンクリート打設時のスランプ値は 8 cm であった。呼び強度は、320 kg f/cm<sup>2</sup> である。載荷試験時に測定したコンクリートの圧縮強度は 353~375 kg f/cm<sup>2</sup>、引張強度は 27.5~32.9 kg f/cm<sup>2</sup>、曲げ強度は 37.2~50.7 kg f/cm<sup>2</sup> であった。鋼材は、鋼板および L 形鋼には SS 41 材、鉄筋には SD30A 材を使用した。各鋼材の機械的性質を表-3 に示す。

### 3.3 試験方法

L 形試験体への載荷方法を、図-12 に示す。試験体端部に設けた載荷治具を介して、油圧ジャッキと鋼棒により載荷する。試験体端部は、ピン構造である。油圧ジャッキ側の治具と反力床とは、ローラーで水平方向の移動が自由である。他端は、反力床に固定する。この載荷方法

で接合部に負もしくは正の曲げを作用できる。負曲げは試験体の内縁に引張応力が、正曲げは試験体の外縁に引張応力がそれぞれ発生する曲げである。油圧ジャッキに P の荷重を与えると接合部端部に  $P l / \sqrt{2}$  の曲げモーメントと  $P / \sqrt{2}$  のせん断力と軸力が生じる。ここで l は、接合部端部からピンまでの距離である。載荷は、鋼材降伏まで荷重制御で行ない、鋼材降伏時の載荷点の変位量を基にその後変位制御で載荷を繰返し行う。鉄筋降伏時の変位量の 10 倍を超えても耐力力の著しい低下が認められない場合は、その時点で載荷を中止する。

T 形試験体の載荷は図-13 に示すような方法で行う。試験体は、柱下端に設けた治具を介して反力床に鋼棒により固定する。試験体のはり部分の両端に設けた載荷用治具を介して、油圧ジャッキと鋼棒 4 組により交番荷重を載荷する。載荷点での治具の構造はピンであり、曲げやねじれを端部に極力与えないように配慮する。図中で試験体の上側より下側に変形する向きのモーメントを与える荷重を正曲げ、逆方向を負曲げと称する。油圧ジャッキに P の荷重を与えると接合部端部に Pl の曲げモーメントと P のせん断力が生じる。軸力は、作用しないと考えられる。ここで l は、接合部端部からピンまでの距離である。

表-2 コンクリート配合と 3 強度

配 合 表 (kg f/m <sup>3</sup> )					
セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	
352	155	735	1,100	0.880	
水セメント比		細骨材率			
44%		41.1%			
材令 (日)	圧縮強度 (kg f/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg f/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kg f/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kg f/cm <sup>2</sup> )	ポアソン比
28	35.3	32.9	37.2	$2.24 \times 10^5$	0.17

表-3 鋼材の機械的性質

種 類	降伏強度 (kg f/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (kg f/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kg f/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)
鋼 板	31.3	43.5	$2.04 \times 10^4$	28.5
鉄筋 D16	45.3	65.2	$1.91 \times 10^4$	17.4
鉄筋 D19	43.9	63.9	—	19.4
スタッド	39.8*	51.1	—	32.2

\*) スタッドは 0.2% 耐力

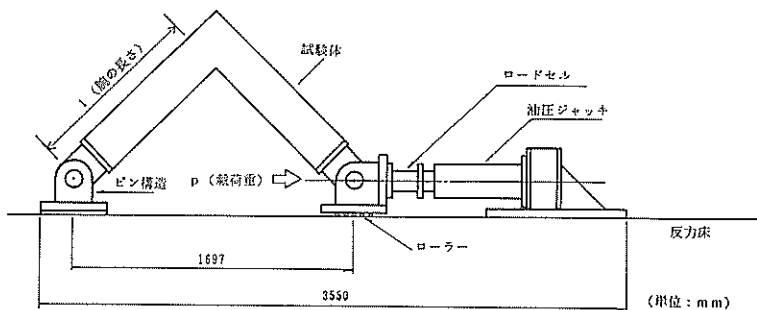


図-12 L 形試験体の載荷方法

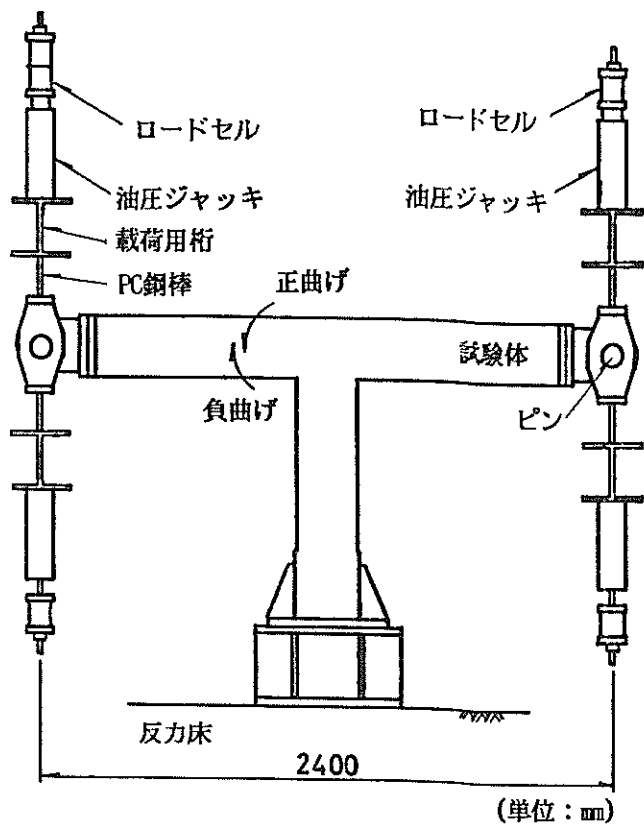


図-13 T形試験体の荷荷方法

3.4 計測項目

試験時の計測は、①油圧ジャッキの荷重、②試験体の荷荷点での水平変位量、③鉄筋、コンクリートおよび鋼材に生じるひずみ量、および④コンクリートのひびわれ性状に関して行う。試験体の変位は変位計で、鋼材のひずみ量は測定長3または5mmの、コンクリートのひずみ量は測定長30mmの電気抵抗線式ひずみゲージで測定する。ひびわれの進展状況は、目視で観察しスケッチを行ない、ひびわれ幅は標点間隔100mmのパイ型ゲージで測定する。

表-4に各試験体の計器個数を示す。図-14にL形試験体での変位計の配置状況を示す。ピン構造の治具の箇所に3点ずつ変位計を取り付け、試験体の荷荷方向の変位と荷荷中試験体が回転しないかを計測する。図-15にT形試験体での変位計の配置状況を示す。荷荷点での押し引きの変位量と柱部材の水平変位を計測する。図-16にL1試験体での鋼材とコンクリート部によるひずみゲージの配置を示す。各試験体でひずみゲージの配置の

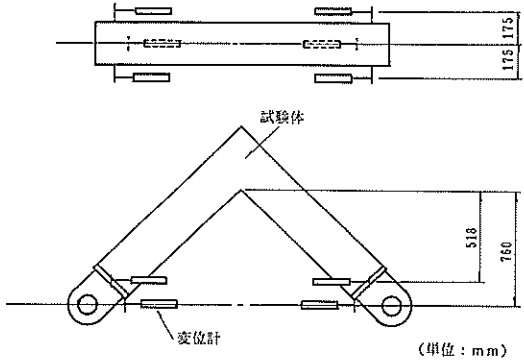


図-14 L形試験体の変位計配置状況

状況と枚数は、鋼材の配置状況により若干異なる。L1試験体では、接合部内の主鉄筋に5箇所、せん断補強筋に3箇所、ずれ止に4箇所、各々2枚対にひずみゲージを貼る。また接合部内側の鋼板に6箇所、外側のコンクリートに4箇所同じくひずみゲージを貼る。図-17にT

表-4 各試験体での計器個数

試験体	ロードセル	変位計	鋼材ひずみゲージ	コンクリートひずみゲージ	バイ型ゲージ
L-1	1	6	42	10	13
L-2	1	6	42	14	13
L-3	1	6	28	10	13
L-4	1	6	56	10	13
L-5	1	6	56	10	13
L-6	1	6	42	10	19
L-7	1	6	42	14	13
L-8	1	6	28	10	13
L-9	1	6	28	10	13
L-10	1	6	56	10	13
T-1	2	8	48	8	20
T-2	4	8	56	8	18
T-3	4	8	41	4	18
T-4	4	8	77	4	18

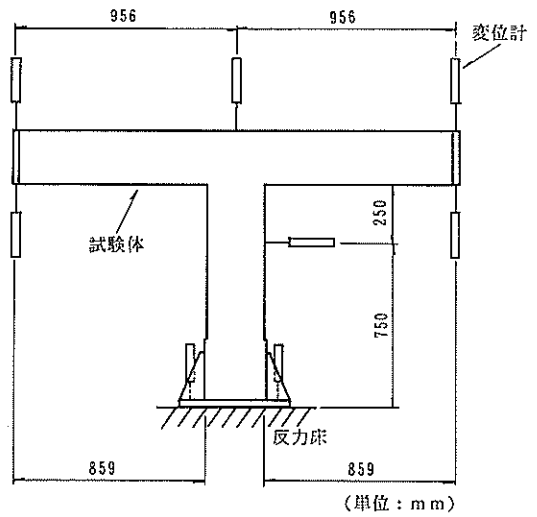


図-15 T形試験体の変位計配置状況

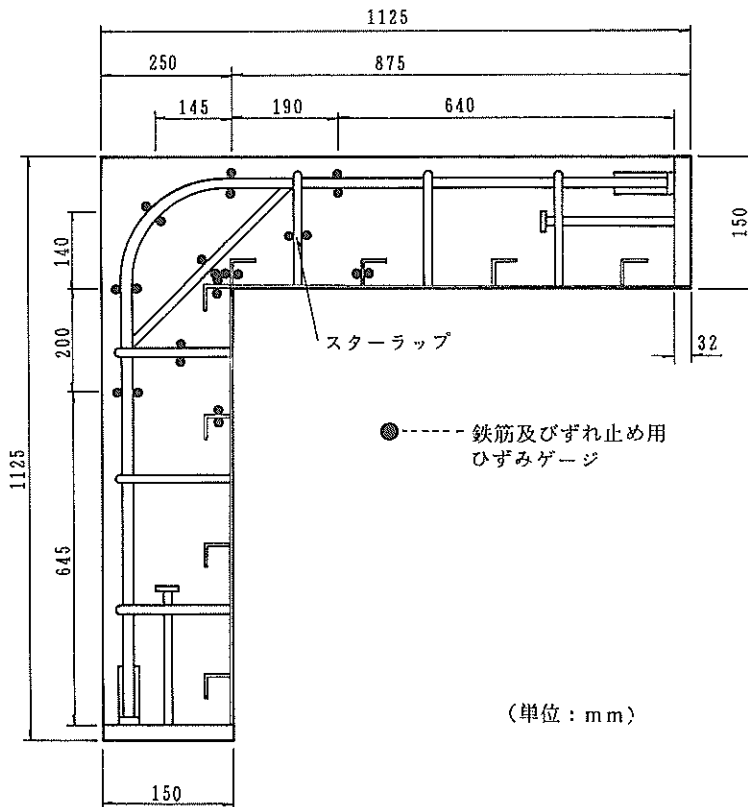


図-16(a) L-1 試験体でのひずみゲージの配置状況

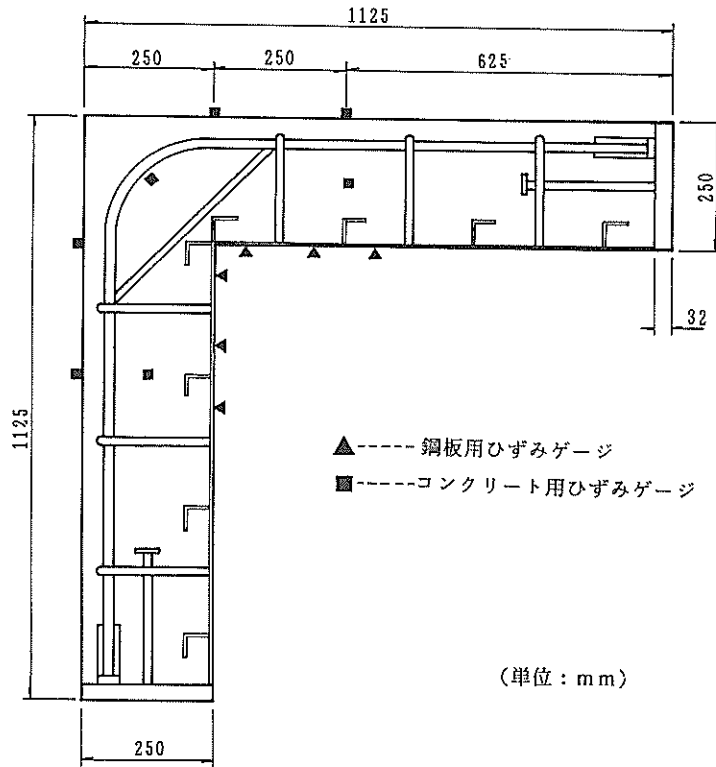


図-16 (b) L1 試験体でのひずみゲージの配置状況

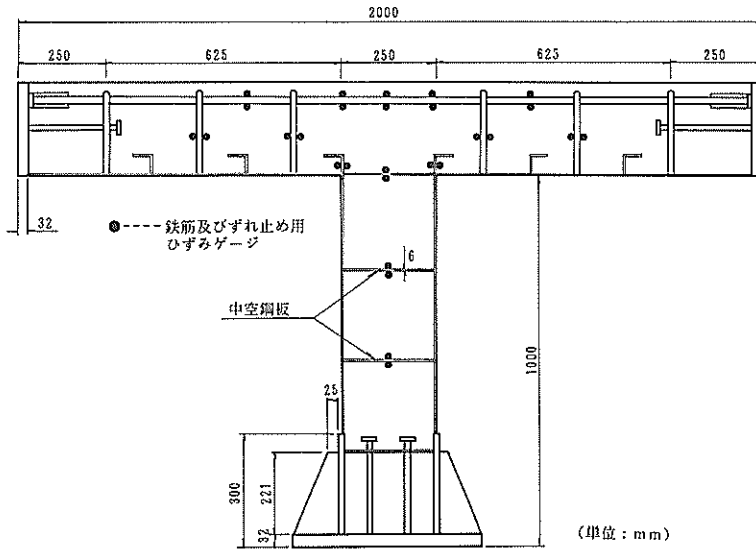


図-17 (a) T1 試験体でのひずみゲージの配置状況

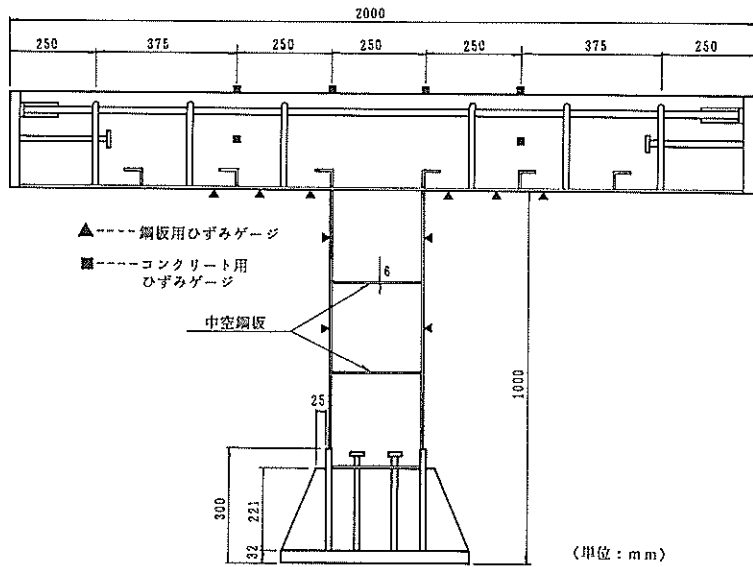


図-17(b) T1 試験体でのひずみゲージの配置状況

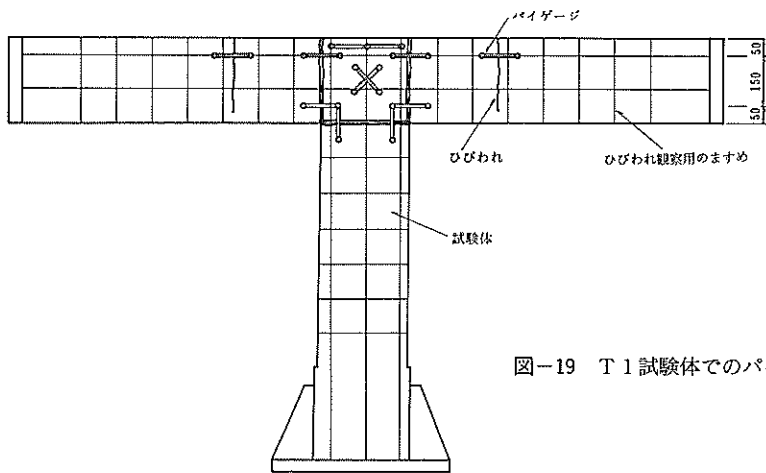


図-19 T1 試験体でのパイゲージの配置状況

1 試験体のひずみゲージの配置箇所を示す。主鉄筋、せん断補強筋、中空のせん断鋼板、ずれ止、鋼板およびコンクリート表面にひずみゲージを総計 76 枚貼る。図-18 に L1 試験体での、図-19 に T1 試験体でのひびわれ幅測定用のパイゲージの配置を示す。ここでは、特に鋼板とコンクリートとはく離や接合部つけねのひびわれに着目している。

#### 4. 載荷試験結果

##### 4.1 破壊形態

各試験体での載荷試験の結果の概要を表-5 に示す。

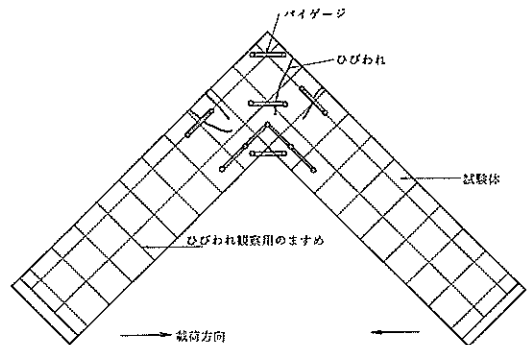


図-18 L1 試験体でのパイゲージの配置状況

表-5 載荷試験結果の概要

試験体	載荷方法	ひびわれ荷重 (tf)	降伏荷重 (tf)	最大荷重 (tf)	じん性	降伏位置
L 1	負	0.35	—	1.19	—	—
L 2	〃	0.80	2.51	3.83	7.03	水平補強筋
L 3	〃	0.65	3.37	6.44	10.00	中空鋼板
L 4	〃	1.60	4.70	6.96	10.00	中空鋼板
L 5	〃	1.70	5.14	6.71	10.00	中空鋼板
L 6	正	1.85	4.09	8.40	10.00	主鉄筋
L 7	〃	1.60	4.31	7.82	10.00	主鉄筋
L 8	〃	1.06	9.23	10.80	2.00	外側鋼板
L 9	〃	2.60	7.69	14.01	3.98	円弧補強筋
L 10	〃	2.40	7.45	13.86	5.00	円弧補強筋
T 1	負	0.45	2.29	4.20	9.94	中空鋼板
	正	0.90	2.61	3.91	7.04	主鉄筋
T 2	負	0.50	3.00	4.02	5.96	中空鋼板
	正	0.80	3.67	4.50	10.09	主鉄筋
T 3	負	1.20	3.00	5.56	7.01	中空鋼板
	正	1.20	7.19	12.18	7.01	上側鋼板
T 4	負	1.80	4.40	7.29	5.02	中空鋼板
	正	1.80	7.10	13.85	10.42	上側鋼板

図-20 に L 形試験体での初期ひびわれの発生状況、図-21 に終局でのひびわれ状況を示す。以下に各試験体の破壊に至る状況を述べる。

① L 形試験体の負曲げ載荷時

L 1 試験体：荷重と変位の関係を図-22 に示す。接合部のずれ止め先端より図-20 に示すように水平方向に初期ひびわれが発生し、荷重 1.2 tf で発生した主鉄筋沿いのひびわれがこれに連結して終局に至った。最大荷重は、1.19 tf と予想よりもかなり低かった。この際、接合部のずれ止めとコンクリートとの剝離が顕著になったが、コンクリートの圧壊や鋼材の降伏には至らなかった。ずれ止めは、少し曲げられた。この試験体では、引張り側の鋼板が主鉄筋に定着してないので接合部の所定の強度は確保できない。

L 2 試験体：接合部から鉛直方向に初期ひびわれが発生し、接合部端部で補強鉄筋が降伏した。その後、接合部のせん断補強鉄筋が降伏した時点で主鉄筋沿いにひびわれが発生し、以後荷重の増加は小さくなった。最大荷重は、3.83 tf であり L 1 試験体と比較して、この補強鉄筋が鋼板の定着に有効であったことが認められた。

L 3 試験体：接合部で鋼板とコンクリートとはく離が載荷荷重が極く低い段階から生じ、0.65 tf で顕著となった。その後接合部端部の中空鋼板が降伏した。荷重 6 tf 程度でこの中空鋼板とコンクリートとが剝離した後、変形の進みが早くなり終局に至ったが、明確な破壊は生じなかった。接合部周辺の鋼板とコンクリートとの間の剝離が顕著に認められた。コンクリートにはひびわれがほとんど発生しなかった。

L 4 試験体：図-23 に荷重と変位の関係を示す。接合部で鋼板とコンクリートとはく離が載荷荷重が低い段階から生じた。その後接合部端部の中空鋼板が降伏した後、接合部のコンクリートに水平方向のひびわれが生じた。その後接合部周辺の鋼板とコンクリートとの剝離が認められた。補強筋の存在で、L 1 試験体と異なり接合部内のコンクリートにひびわれが発生した。最大荷重は、6.96 tf で接合部内のせん断補強の効果がやや認められた。

L 5 試験体：ほぼ L 4 試験体と同じ破壊過程であった。接合部端部の中空鋼板が降伏した後、接合部のコンクリートに水平方向のひびわれが生じた。接合部周辺の鋼




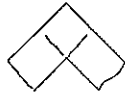


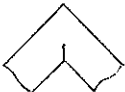


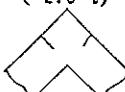

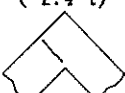
供試体	載荷方法	初期クラック	供試体	載荷方法	初期クラック
L1	負曲げ	0.35 t 	L3	負曲げ	0.65 t 
L6	正曲げ	1.85 t 	L8	正曲げ	1.06 t 
L2	負曲げ	0.80 t 	L4	負曲げ	(1.6 t) 
L7	正曲げ	1.60 t 	L9	正曲げ	(2.6 t) 
L5	負曲げ	(1.7 t) 			
L10	正曲げ	(2.4 t) 			

図-20 各試験体の初期ひびわれ発生状況

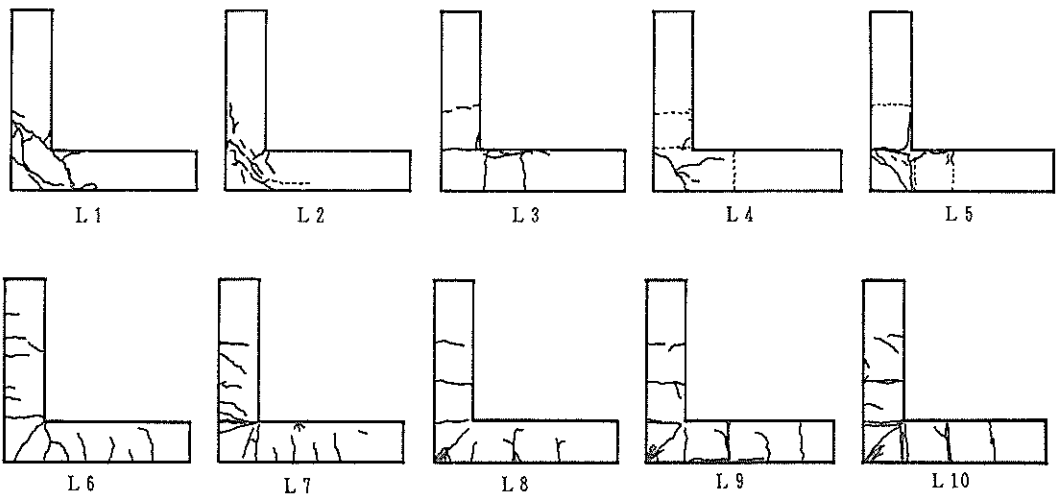


図-21 各試験体の終局でのひびわれ発生状況

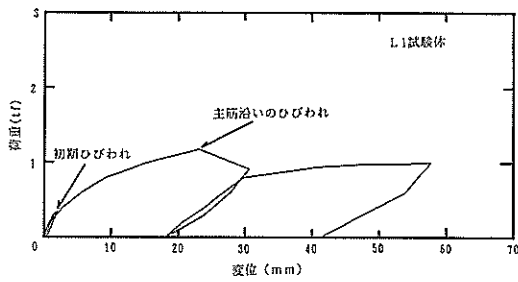


図-22 L1試験体での荷重変位曲線

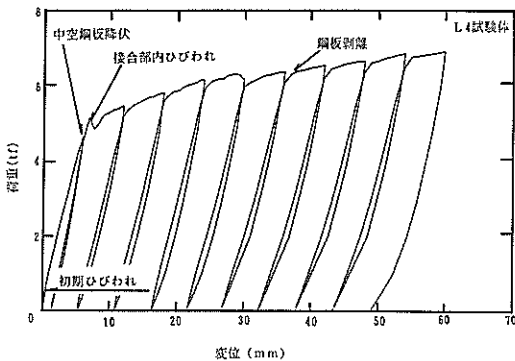


図-23 L4試験体での荷重変位曲線

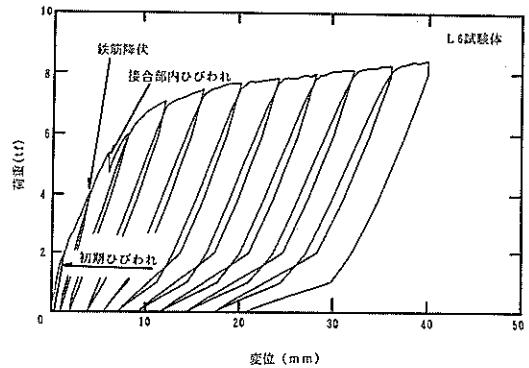


図-24 L6試験体での荷重変位曲線

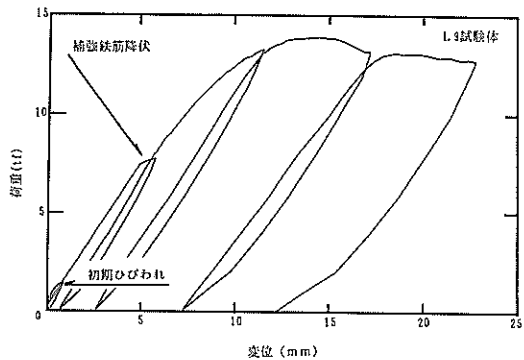


図-25 L9試験体での荷重変位曲線

板とコンクリートとの剝離が認められた。補強筋とずれ止の存在で、接合部内のコンクリートにひびわれが発生した。ただし特はずれ止の存在が、最大荷重の増加に結びつかなかった。

### ② L形試験体の正曲げ載荷時

L6試験体：図-24に荷重と変位の関係を示す。載荷荷重が、1.85 tf のとき接合部端部にひびわれが生じた。主鉄筋が降伏した後、載荷荷重 5.40 tf で接合部上縁角より鉛直方向にひびわれが発生した。コンクリートの曲げひびわれが顕著であったが、鋼板の座屈やコンクリートの圧壊は見られなかった。破壊までのじん性も大きかった。

L7試験体：L6試験体とほぼ同様な破壊過程であった。正曲げに関して、せん断補強筋の効果は、少なかった。

L8試験体：初期ひびわれは、接合部端部の鋼板とコンクリート間に生じた。引張鋼板が降伏した後、最大荷重 10.8 tf で接合部のコンクリートに鉛直方向にひびわれが発生して載荷荷重がその後低下した。L形の頂点付近のコンクリートに圧壊が認められ終局に至った。接合部内のひびわれはこの一本であった。破壊までのじん性

は、負曲げ載荷に比べて小さかった。

L9試験体：図-25に載荷荷重と変位の関係を示す。L8試験体とほぼ同様な破壊過程であった。接合部に鉛直方向のひびわれが発生すると同時に、接合部内の円弧状の補強鉄筋が降伏した。最大荷重は、14.01 tf でせん断補強効果が認められた。

L10試験体：L9試験体とほぼ同様な破壊過程であった。スタッドジベルによるずれ止の効果は、ひびわれ性状と最大荷重に関してほとんどなかった。

### ③ T形試験体の載荷時

次にT形試験体の載荷試験結果を述べる。図-26に初期ひびわれ、図-27に終局時の破壊状況をそれぞれ示す。以下に、各試験体ごとに破壊の状況を述べる。

T1試験体：図-28に荷重と変位との関係を示す。正曲げ時に荷重 0.90 tf ではり部分に曲げひびわれが、負曲げ時に荷重 0.45 tf で接合部のずれ止めに沿うひびわれが発生した。鋼材の最初の降伏は、正曲げ時に荷重 2.50 tf 程度で接合部内の主鉄筋に、負曲げ時に荷重 2.30 tf 程度で接合部下端の水平中空鋼板において生じ

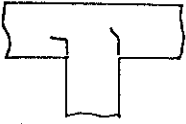
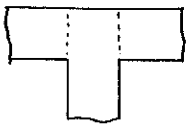
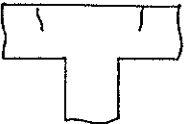
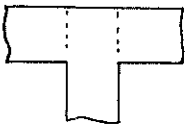

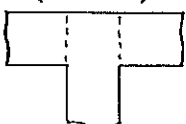

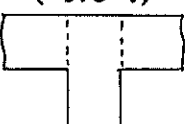
供試体	載荷方法	初期クラック	供試体	載荷方法	初期クラック
T 1	負曲げ ↑	0.45 t 	T 3	負曲げ	( 1.2 t ) 
	正曲げ ↓	0.90 t 		正曲げ	( 1.2 t ) 
T 2	負曲げ ↑	0.50 t 	T 4	負曲げ	( 1.8 t ) 
	正曲げ ↓	0.80 t 		正曲げ	( 1.8 t ) 

図-26 T形試験体での初期ひびわれ状況

た。破壊時には、初期に発生したコンクリート縁の曲げひびわれ、接合部の中空鋼板とコンクリートとの間に大きな隙間が認められた。また、接合部のずれ止めには曲げ変形が生じた。鋼板の座屈・局部変形あるいはコンクリートの圧縮破壊などの現象は認められなかった。最大荷重は正曲げ時、負曲げ時とも4 tf程度であった。

T 2 試験体：正曲げ時に荷重0.80 tfではり部分に曲げひびわれが、負曲げ時に荷重0.50 tfでずれ止めに沿ったひびわれが発生した。鋼材の降伏は、正曲げ時に荷重3.50 tf付近で主鉄筋に、負曲げ時に荷重3.70 tf付近で接合部下端の中空鋼板に生じた。終局状態では、コンクリート上縁の曲げひびわれの開口が著しくなり、補強筋に沿ってひびわれが生じた。鋼板の座屈・局部変形、コンクリートの圧縮破壊などは認められなかった。鋼材降伏荷重は負曲げ時が3.0 tf、正曲げ時が3.67 tfとなり接合部内のせん断補強によってが鋼材降伏荷重がかなり上昇した。最大荷重は負曲げ時は4.02 tfとなりT 1 試験体での結果と同程度となったが、正曲げ時は4.50 tfとなり接合部内のせん断補強によって若干耐荷力が上昇

した。また正曲げ時にじん性がT 1 試験体より大きくせん断補強の効果が認められた。

T 3 試験体：図-29に荷重と変位との関係を示す。ひびわれのは接合部端部の鉛直方向の中空鋼板に沿って発生し、このひびわれ幅が正曲げ、負曲げ時ともに荷重1.20 tf程度で0.1 mmに達した。ひびわれは、この鋼板とコンクリートの境界に集中した。鋼材の降伏は、正曲げ時に荷重7.20 tf程度で接合部上端の鋼板に、負曲げ時荷重が3.00 tf程度で接合部下端の水平方向の中空鋼板に生じた。終局状態では、正曲げ時に水平方向の中空鋼板付近でコンクリートの圧縮破壊、負曲げ時に側面鋼板および接合部の鉛直方向の中空鋼板とコンクリートとの剥離が顕著になった。また、耐荷力がオープンサンドイッチ構造のものより大きいので、はり部分にせん断ひびわれが生じた。最大荷重は、負曲げ時に5.56 tf、正曲げ時に12.18 tfであった。接合部での中空鋼板の変形状況を観察したところ、中空鋼板の切断は以下のような過程を経て進展することがわかった。負曲げ時に降伏が生じて塑性変形が進行すると、次ステップの正曲げ方向の変形

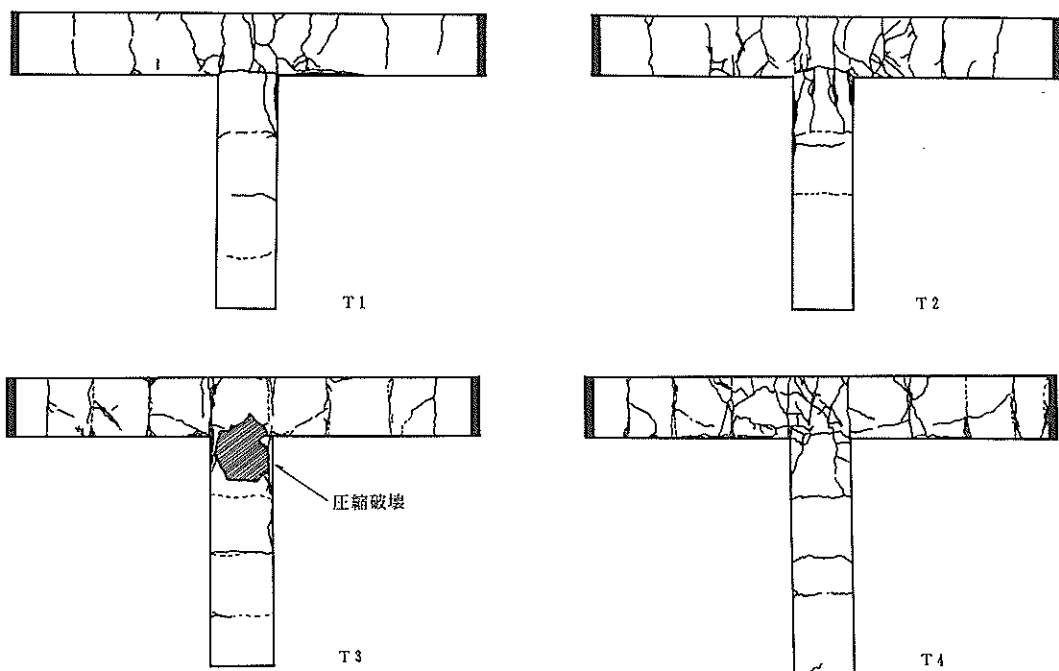


図-27 T形試験体での終局のひびわれ状況

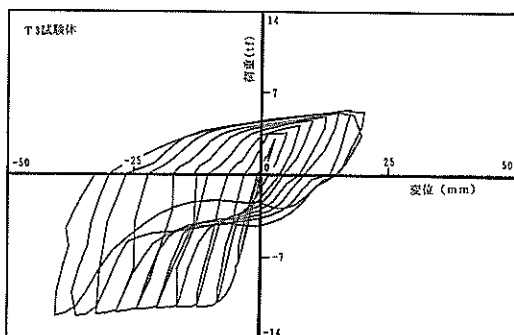


図-28 T1試験体での荷重変位曲線

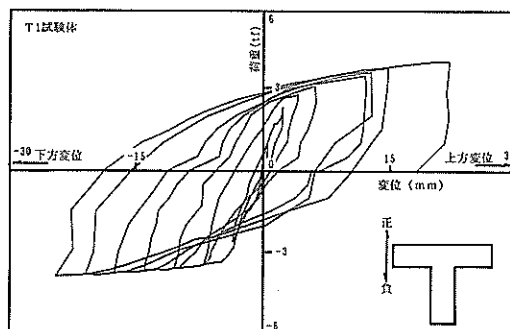


図-29 T3試験体での荷重変位曲線

に対して鋼板の座屈が生じた。この座屈変形は負曲げ時に元に戻るが、再び正曲げ時に生じた。更に中空鋼板とコンクリート間の隙間が大きくなると、座屈変形は面外方向に生じ、最終的に中空部の根本で切断した。正曲げ方向への載荷のとき、荷重変位曲線から分るようにせん断流れが生じた。

T4試験体：初期ひびわれの発生荷重は明確ではなかったが、接合部の鉛直方向の中空鋼板沿いにひびわれが発生した。このひびわれ幅は正曲げ時、負曲げ時ともに荷重が1.80 tf程度で0.1 mmに達した。鋼材の初期降伏は正曲げ時に荷重7.10 tfで上側の鋼板に、負曲げ時

荷重4.40 tfで接合部の水平方向の中空鋼板に生じた。終局状態は、T3試験体と比較して鋼板とコンクリートとの剝離は小さかったが、試験体中心の鉛直方向に発生したひびわれが非常に大きくなった。また、負曲げ時に接合部の鉛直鋼板に挟まれた上側鋼板が上方に座屈した。最大荷重はT3試験体より若干大きくなったが、補強の効果は顕著でなかった。ひびわれは、接合部内でも顕著に分散して発生した。

#### 4.2 ひずみの性状

図-30にL1, L2およびL3試験体での負曲げ時のほぼ鋼材降伏時の鋼材のひずみ分布を示す。負曲げ時に

は、接合部の内側の鋼材に引張りひずみが、外側の鋼板に圧縮ひずみが生じた。他の試験体でもそれぞれ同様のひずみ分布が得られた。L 1 試験体では、載荷荷重の小さい段階から接合部内側のずれ止付近でコンクリートの破壊が生じたので、鋼材のひずみは小さいままで降伏には至っていなかった。L 2 試験体では、接合部端面に配置されたせん断補強筋に大きなひずみが生じ降伏に至った。また、接合部近傍の鋼板のひずみは鋼板がコンクリートより剝離するに伴い、圧縮ひずみが発生した。L 3 試験体では、接合部端部の中空鋼板に大きなひずみが生じ降伏に至った。L 3 試験体でのひずみ分布は、L 4 と L 5 試験体でも同様に得られた。接合部内の補強鋼材の影響は小さかった。

図-31 に L 3 および L 8 試験体での正曲げ時のほぼ鋼材降伏時の鋼材のひずみ分布を示す。正曲げ時には、

接合部の外側の鋼材に引張りひずみが、内側の鋼板に圧縮ひずみが生じた。L-6 試験体では、接合部内の円弧状に配置された主鉄筋に大きなひずみが発生した。鋼板の圧縮ひずみ量は、ほぼ様な値を示した。せん断補強筋やずれ止には小さなひずみしか生じなかった。L 8 試験体では、外側鋼板にほぼ様な引張りひずみが生じた。接合部の中空鋼板には大きなひずみ量は、生じなかった。L 9 および L 10 試験体でも同様なひずみ分布となった。ただし接合部内の補強鉄筋の円弧部では、大きなひずみが発生した。

図-32 に T 1 試験体での正曲げ載荷と負曲げ載荷で鋼材がほぼ降伏したときのひずみ分布を示す。正曲げ載荷のとき、はり部材の外側の主鉄筋に大きな引張りひずみが、下側の鋼板に圧縮ひずみが生じた。せん断補強筋、ずれ止及び柱部分では、大きなひずみ量となっていな

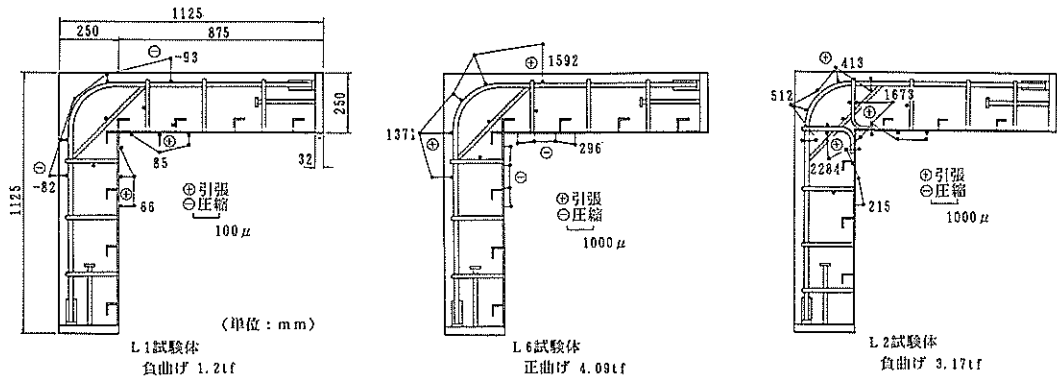


図-30 L形試験体での負曲げ時の鋼材ひずみ

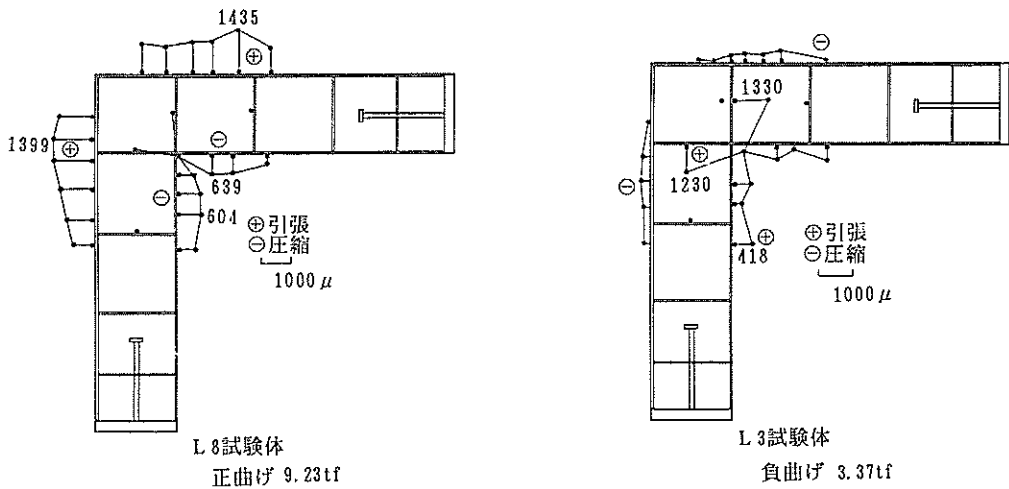


図-31 L形試験体での正曲げ時の鋼材ひずみ

かった。負曲げ載荷のとき、柱部材上端の接合部内の中空鋼板におおきなひずみ量が集中した。繰返し載荷をしている途中にこの箇所では、鋼板が座屈した。T 2 試験体でも T 1 試験体とほぼ同じひずみ分布を示したが、接合部内の鋼材でのひずみ量は小さかった。

図-33 に T 3 試験体でのひずみ分布を示す。正曲げ載荷のときはり部材の外側に、負曲げ載荷のときは柱部材上端の中空鋼板に大きなひずみ量が生じた。他の箇所のひずみ量は、小さかった。繰返し載荷をしている途中にこれら鋼板は、接合部位置で座屈をした。また接合部に補強した T 4 および T 5 試験体でも同じ様なひずみの分布になったが、接合部内での補強鋼材でのひずみ量は、小さかった。

### 4.3 ひびわれの性状

図-20 と図-21 に各試験体でのひびわれの状況を示

した。オープンサンドイッチ構造の試験体でのひびわれ性状は、鉄筋コンクリートの隅角部でのひびわれ性状とほぼ同じである。すなわち正曲げのとき接合部の 45 度方向とつけねの箇所に割裂的にひびわれが生じた。負曲げのとき円弧状の主鉄筋に沿ってひびわれが集中した。サンドイッチ構造の試験体では、接合部の鋼板ぞいにひびわれが集中した。とくに荷重段階の低いときからひびわれが生じた。正曲げの時には、接合部内の 45 度方向に割裂的にひびわれが生じた。負曲げのとき、接合部内に補強筋がないときには、周辺の鋼板部分のみひびわれが生じたが、補強筋があるとこの鉄筋ぞいにもひびわれが生じた。

図-34 に L 形試験体の負曲げ時のパイ型ゲージで得られたひびわれ幅と載荷荷重との関係を示す。パイ型ゲージの設置位置は、接合部のつけねである。各試験体

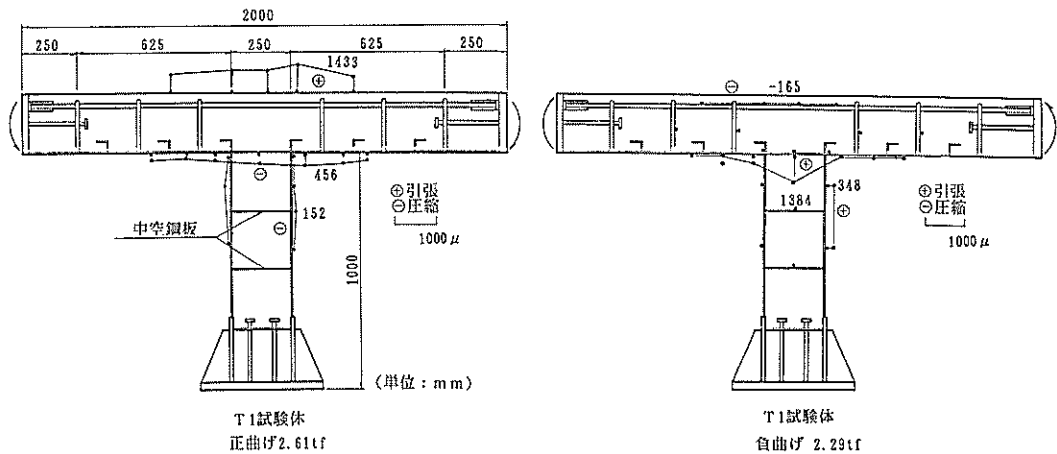


図-32 T 1 試験体での鋼材ひずみ

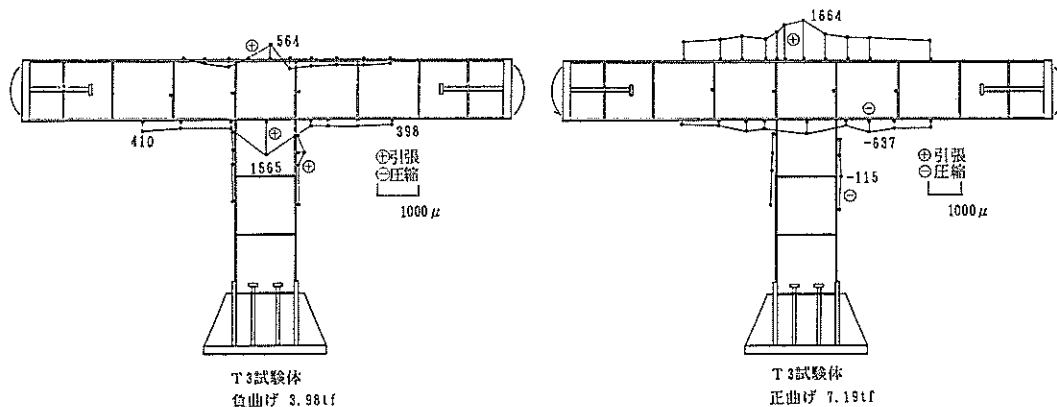


図-33 T 3 試験体での鋼材ひずみ

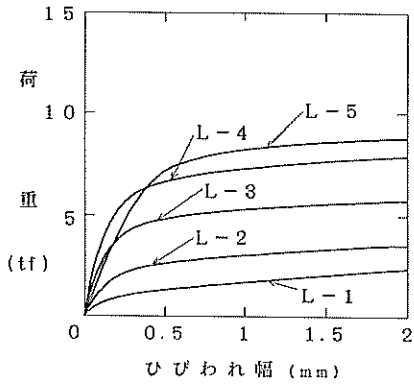


図-34 L形試験体負曲げ時のひびわれ幅と荷重との関係

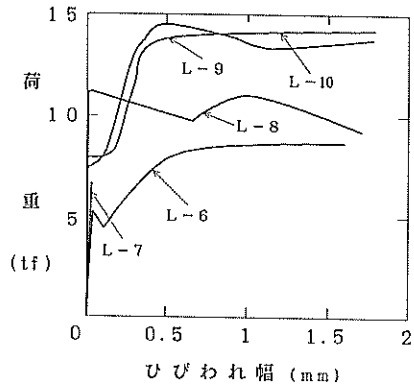


図-35 L形試験体正曲げ時のひびわれ幅と荷重との関係

とも荷重の増加と共にひびわれ幅は増加した。L1試験体より補強を施したL2試験体の方が、またL3試験体より補強を施したL4及びL5試験体の方が、同じ荷重段階で比較するとひびわれ幅は小さく補強効果が見られた。図-35にL形試験体の正曲げ時のひびわれ幅と載荷荷重との関係を示す。パイ型ゲージの設置位置は接合部内の45度のひびわれ発生位置である。補強効果は、負曲げ時と同じ様にひびわれ幅の低減として認められた。

T4試験体の接合部で計測されたひびわれ幅と荷重との関係を図-36に示す。T3試験体では前述のように中空鋼板沿いにひびわれが集中したが、T4試験体では補強鉄筋が配置されているため接合部内にも多数のひびわれが生じ、接合部に分散した。載荷を繰返す内にひびわれ

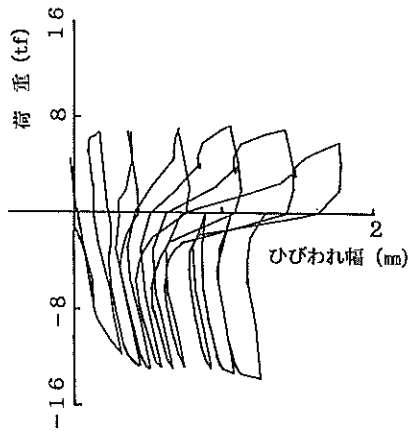


図-36 T4試験体でのひびわれ幅と荷重との関係

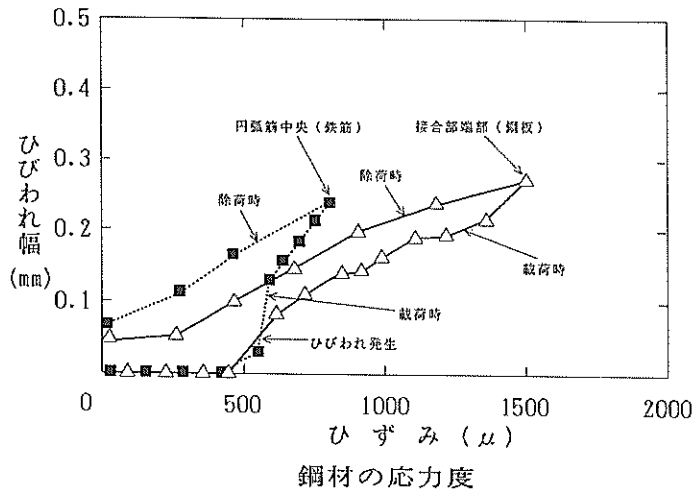


図-37 L1試験体でのひびわれ幅とひずみとの関係

れ幅は、累加して行った。この接合部のひびわれ幅は、正曲げ時の鋼材降伏時に既に 0.3 mm を超えた。その後このひびわれ幅は大きくなり、負曲げ時の鋼材降伏時に 1.8 mm 程度にまでなった。

図-37 に L1 試験体での鋼材のひずみとひびわれ幅との関係を示す。接合部の端部の主鉄筋位置でのひびわれ幅と鋼材のひずみとの関係は、鉄筋コンクリートの場合と同じ傾向を示した。一方接合部内の円弧鉄筋位置でのひびわれ幅は、接合部端部と異なりひびわれ幅が大きくなった。これは、接合部端部がまげひびわれであるのに対して接合部内は、鉄筋ぞいに生じたひびわれでありその発生原因が異なるからである。

## 5. 考 察

### 5.1 接合部の既往計算法との比較

#### 5.1.1 ひびわれ発生荷重

鉄筋コンクリート構造の隅角部の設計法は、前述したように福田<sup>6)</sup>が求めた弾性解（厳密解）を基にしている。この解を基に図-3 に示した隅角部での応力分布から接合部内のコンクリートの応力度は、次式で簡易的に求まる。

#### ① 正曲げ時

接合部対角線での最大応力度 ( $\sigma_c$ ) は、外側の角より 0.4 R の箇所が生じる。

$$\sigma_c = 0.32(15.6M + 2.8S \cdot A) / R^2 \cdot B \quad (1)$$

ここで M：接合部端部での曲げモーメント

S：接合部端部のせん断力

R：接合部対角線の長さ

B：部材の厚さ（奥行）

A：接合部端部の長さ

接合部対角線上のコンクリートに生じる引張り応力度の合計に対してせん断補強をする。

この合計値 (F) は、次式で求まる。

$$F = (1.96M + 0.225S \cdot A) / R \quad (2)$$

#### ② 負曲げ時

最大応力度 ( $\sigma_c$ ) は、接合部内側の角に生じる。

$$\sigma_c = (6M + 2P \cdot A) / R^2 \cdot B \quad (3)$$

この引張り力がコンクリートの引張り強度を超える場合は、次式により補強鋼材を接合部内に配置する。

$$\sqrt{2A_s} \cdot \sigma_s = A_{st} \cdot \sigma_{st} \quad (4)$$

ここで  $A_s$ ：接合部内側の鋼材の断面積

$\sigma_s$ ：鋼材の降伏応力度

$A_{st}$ ：補強鋼材の断面積

$\sigma_{st}$ ：補強鋼材の降伏応力度

#### ③ 接合部端部の曲げによるひびわれ

曲げモーメントによる接合部端部でのコンクリートの引張り応力度 ( $\sigma_c$ ) は次式で与えられる。

$$\sigma_c = 6M / A^2 \quad (5)$$

上記の式より今回の接合部での初期ひびわれの発生荷重を計算する。この際安全率や部材、荷重の係数などは、乗じていない。コンクリートの引張り強度を 30.0 kg f/cm<sup>2</sup> と仮定すると接合部内にひびわれが生じる載荷荷重は正曲げ時で 2.1 tf で、負曲げ時で 1.7 tf となる。またコンクリートの曲げ引張りを強度 43 kg f/cm<sup>2</sup> と仮定すると接合部端部にひびわれが生じる載荷荷重は、1.9 tf（鉄筋の場合）-2.3 tf（鋼板の場合）となる。すなわち今回の試験体では、接合部端部より内部に先に初期ひびわれが入ることになるがこの差は小さい。

負曲げ時に L2 と L3 試験体では、初期ひびわれ発生荷重に関して実験値は計算値より約半分となった。とくに L1 試験体では接合部内側の角の鋼材がひびわれを誘発したので実験でのひびわれ発生荷重はさらに小さかった。正曲げ時に L6 および L7 試験体では、端部に初期ひびわれが生じたが曲げによるひびわれ発生荷重よりはやや小さな値となった。

L8 試験体では、中空鋼板ぞいにひびわれが載荷荷重の低いときから生じ、実験値は、計算値より小さくなった。いずれにしても計算値より実験値が上回ることはなくひびわれの発生が、しやすい結果となった。

ただレサンドイッチ構造では、正曲げ時及び負曲げ時とも接合部にせん断補強を施すことにより初期ひびわれの載荷荷重は施さない場合より増加した。せん断補強の効果は、ひびわれの発生荷重を増加させる上で効果が有ると言える。この場合のひびわれ発生荷重は、上記の式で算定可能と考える。

#### 5.1.2 終局強度

接合部での終局強度は端部での部材強度で求める。すなわち図-38 に示すように曲げ耐力とせん断耐力に関して照査する。これらの算定式は、土木学会のコンクリート標準示方書<sup>13)</sup>に従う。なお、ハイブリッド部材に土木学会の提案式を用いることの適用性については、参考文献(3)に示されている。

曲げ耐力 ( $M_u$ ) は以下の簡易式より求まる。

$$\begin{aligned} M_u &= T(d - 0.4x) \\ &= A_s \cdot \sigma_s (d - 0.4A_s \cdot \sigma_s / 0.85 * 0.8 * \sigma_{ck} \cdot B) \quad (6) \end{aligned}$$



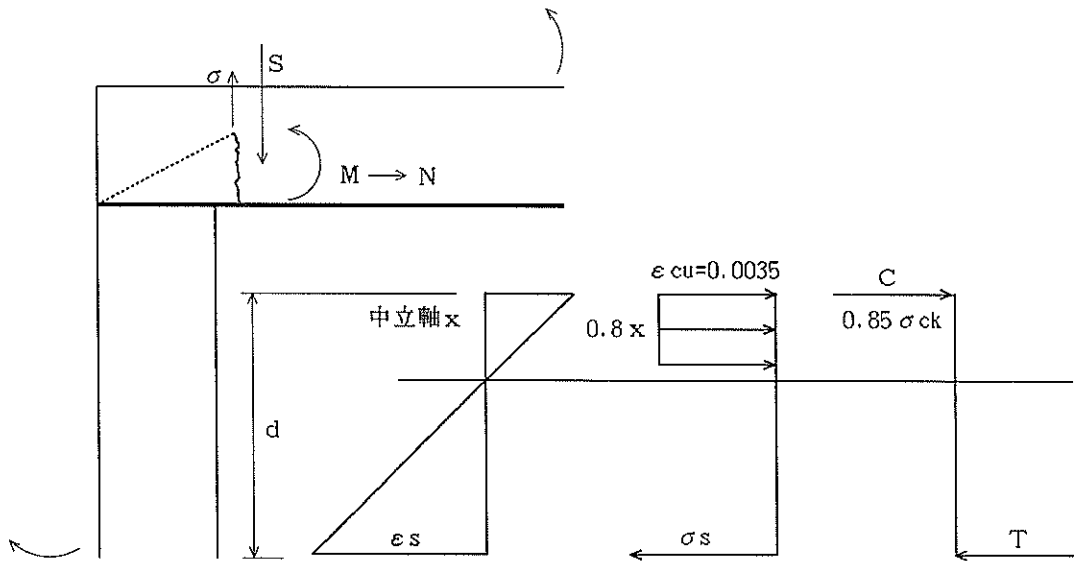


図-38 接合部での曲げとせん断力

- ここでT : 鋼材の総引張り力  
 d : 有効高さ  
 x : 部材上端から中立軸までの距離  
 $A_s$  : 引張り鋼材の断面積  
 $\sigma_s$  : 引張り鋼材の応力度  
 $\sigma_{ck}$  : コンクリートの圧縮強度  
 d : 有効高さ  
 B : 部材の厚さ

せん断耐力 ( $V_{cd}$ ) は、以下の式で求まる。

$$V_{cd} = f_{vd} \cdot B \cdot d + A_w \cdot f_{wy} \cdot d \cdot z (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \quad (7)$$

- ここで  $f_{vd}$  : コンクリートのせん断強度の設計用値  
 $A_w$  : せん断補強鋼材の断面積  
 $f_{wy}$  : せん断補強鋼材の降伏強度  
 z : コンクリートの圧縮合力の作用点から引張り鋼材までの距離  
 $\alpha$  : せん断補強鋼材と部材軸のなす角度  
 s : せん断補強鋼材の間隔  
 d : 有効高さ  
 B : 部材の厚さ

上記の式で計算した梁部材としての鋼材降伏曲げモーメントとせん断力の載荷荷重の結果を、表-6に示す。ここで鋼材の降伏強度として鉄筋は  $4,390 \text{ kg f/cm}^2$ 、鋼板は  $3,050 \text{ kg f/cm}^2$  及びコンクリートの圧縮強度を  $365 \text{ kg f/cm}^2$  と仮定した。計算結果から接合部端部では、せん断破壊より曲げによる破壊が先行することが分る。また負曲

表-6 はり部材としての計算結果の一覧

	オープンサンドイッチ構造		サンドイッチ構造
	負曲げ	正曲げ	
曲げ荷重	11.8 tf	5.5 tf	11.8 tf
せん断荷重	33.2 tf	29.3 tf	26.2 tf

げの時中空鋼板の断面欠損を考慮した場合の鋼材降伏時の載荷荷重は、3.2 tf である。同じくせん断補強筋での鋼材降伏時の載荷荷重は 3.3 tf である。この際曲げモーメントとせん断力の両者を考慮して鋼材降伏時の載荷荷重を求めた。今回の試験体では、梁母材よりも接合部が強度的にかなり弱い構造となっている。

① オープンサンドイッチ構造の負曲げ時

負曲げを受けるオープンサンドイッチ構造の L1 および L2 試験体では、接合部での内側の引張り鋼材もしくは、せん断補強筋の降伏が先行する。計算では、載荷荷重が 3.3 tf のとき鋼材の降伏が生じることになるが、L1 試験体では計算値よりかなり小さい載荷荷重でせん断補強筋の降伏に至った。L1 試験体のように引張り鋼材が圧縮鋼材に定着してないと負曲げに対する耐力はほとんど期待できない。L2 試験体では、引張り鋼材が補強鉄筋で定着しており、計算値に近ずいた。引張り鋼材に生じた力がせん断補強鉄筋に伝達されたが、鋼材の断面積が引張り鋼材よりせん断補強筋の方が約  $1/4$  と小

さいため鋼材の応力度が梁部材での鋼板より大きくなったと考えられる。これらの状況の概略を図-39に示す。もちろんこのせん断補強筋には、鋼板から伝達される応力度とせん断力による応力度の両者が作用するので設計時にはこのことを考慮する必要がある。ただし実験での鋼材のひずみ分布の状況と計算による曲げ耐力とせん断耐力の比から今回の試験体でのせん断補強筋には、曲げによる応力が卓越している。

② サンドイッチ構造の負曲げ時

負曲げを受けるサンドイッチ構造のL 3, L 4およびL 5試験体でも、オープンサンドイッチ構造と同じ現象が生じており、引張り鋼板の力が中空のせん断補強鋼板に伝達され鋼材の面積比からこのせん断補強鋼材がまず降伏したと考えられる。計算では3.2tfでこの鋼材が降伏することになるが、実験値はいずれもこの値を上回った。また補強により接合部の耐力はすこし上昇したと言える。

③ オープンサンドイッチ構造の正曲げ時

正曲げを受けるオープンサンドイッチ構造では、外側の鉄筋あるいは接合部内の円弧鉄筋の降伏が先行する。接合部での力学的な概略を図-40に示す。主鉄筋が降伏したL 6, L 7試験体では、実験結果と曲げによる降伏荷重の計算結果(5.5tf)よりやや小さかった。また(2)式で計算される円弧鉄筋の降伏荷重は、5.4tfでありほぼ曲げによる載荷荷重と等しかった。

④ サンドイッチ構造の正曲げ時

サンドイッチ構造の正曲げ時にはL 8試験体で接合部端部の鋼板で降伏に至った。実験での鋼材の降伏荷重は、計算値よりやや小さかったもののほぼ同程度と考えられる。しかしL 9及びL 10試験体では、接合部内の円弧鉄

筋が最初に降伏してしまい曲げによる降伏荷重と実験での載荷荷重とが一致しなかった。ただし外側の鋼板の降伏荷重に着目すれば、L 8, L 9及びL 10試験体ともほぼ同じ降伏荷重であった。この様に接合部を補強することにより逆に補強鋼材が先に降伏することも有り得るので注意が必要である。

T形接合部に関しては、L形接合部と同様な検討結果となる。すなわち負曲げ時には、せん断補強鋼材が降伏し、正曲げ時には外側の鋼材が降伏に至った。正曲げと負曲げの繰返し荷重に対しても今回T形接合部での破壊荷重や破壊形式は、ほぼL形試験体と同様であった。従ってT形接合部もL形接合部と同様な構造細目と設計法を用いれば良い。

5.2 ひびわれ幅

ひびわれ幅の検討は、海洋環境下に置かれるコンクリート構造物では、重要である。ひびわれ幅が、鋼材の腐食やコンクリートの劣化と大いに関係があるとされており、ひびわれ幅を制限する設計法が取られている。ただし現在では、曲げひびわれのみが制限の対象となっている。また沈埋トンネルや浮き防波堤などの構造物では、止水性の確保も重要であり、ひびわれの発生を極力抑えることが求められる。

一般に合成部材では、ひびわれがずれ止位置から集中して発生し、かつひびわれが鉄筋コンクリート部材のように分散しないことから、ひびわれ幅は大きくなる傾向がある。<sup>14)</sup>オープンサンドイッチ構造では、外側の鉄筋コンクリート部分の曲げによるひびわれ幅は、図-37に示したように従来のひびわれ幅と鋼材のひずみとの関係と傾向が一致している。したがってコンクリート標準示方書に示される方法でひびわれ幅を算定して良いと考える。しかし円弧鉄筋ぞいのひびわれ幅は、主鉄筋でのひびわれ幅より大きくなった。これは、鉄筋がコンクリートを内側へ押込むことにより引張り力を与えることにより接

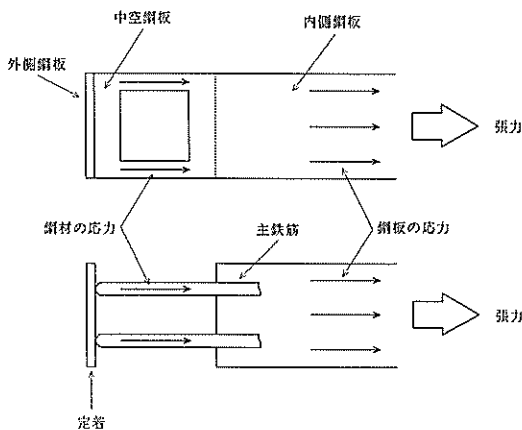


図-39 接合部端部での応力度の状況

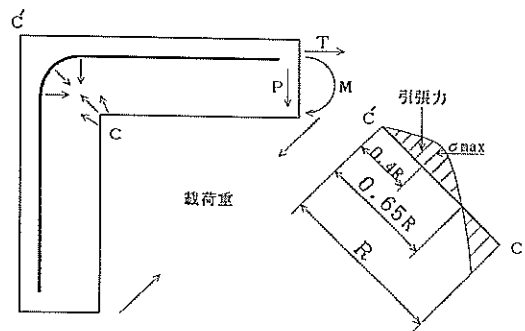


図-40 接合部での円弧鉄筋の力学的状況

合部内でのひびわれが、生じたもので、鉄筋軸方向とコンクリートとの付着が十分とれないのでひびわれ幅が大きくなったと考える。ただしこのひびわれは、直接外側の外気に接触しないので材料の耐久性の観点からのひびわれ幅の制限は必要ないと考える。

一方サンドイッチ構造では、ひびわれが中空鋼板ぞいに荷重段階が低いときから発生した。ここでのひびわれは、はく離とずれの両者が見られた。サンドイッチ構造では、周囲の鋼板に腐食で穴があいたり溶接の欠陥でひびが入らない限りコンクリート部分に周囲から海水や空気が進入しない。従ってひびわれ幅の制限は、耐久性の観点からは必要ないと考える。接合部内のひびわれの発生は、接合部の剛性を低下させ外力が作用したとき構造物に過度の変形や振動を与える可能性も有るが、接合部の耐荷力を隣接する部材以上にしておくか、あるいは設計外力に対して接合部での回転能力を制限することで対応できると考える。

## 6. まとめ

合成構造のL形およびT形接合部を対象とした静的載荷試験の結果、以下の主要な結論が得られた。

### (L形接合部の実験結果)

- ① 試験体の内側に引張りの生じる負曲げを受ける場合には、接合部のずれ止めあるいはせん断補強鉄筋の降伏で終局に至った。内側の鋼材を外側の鋼材に定着しないと終局荷重は、小さかった。
- ② 試験体の外側に引張りの生じる正曲げを受ける場合には、引張側の鉄筋あるいは鋼板が降伏して終局に達した。終局時には、コンクリートの圧壊が見られた。負曲げ時と同様に鋼板とコンクリートとののはく離は荷重段階の小さいうちから見られた。また接合部内を補強すると、引張り側の鋼材より先にこの補強鉄筋が降伏する可能性があるので注意が必要である。
- ③ オープンサンドイッチ構造では、せん断補強の効果耐荷力とじん性の増加に寄与する。しかしサンドイッチ構造では、ほとんど寄与しない。ひびわれは、せん断補強がないと鋼板とコンクリート間に集中するが、せん断補強があると接合部内に分散してひびわれが生じる。

### (T形接合部の実験結果)

- ④ オープンサンドイッチ構造では、正曲げ時に主鉄筋、負曲げ時に接合部のせん断補強鋼材(中空鋼板)が降伏して破壊に至った。鋼板の座屈やコンクリートの圧縮破壊は見られなかった。接合部内では主に正曲げによるひびわれが生じた。補強鉄筋を接合部

内に配置することにより耐荷力およびじん性とも若干向上した。

- ⑤ サンドイッチ構造では、正曲げ時に上側鋼板、負曲げ時に接合部のせん断補強鋼材が降伏して破壊に至った。また、中空鋼板の座屈、破断およびコンクリートの圧縮破壊が見られた。接合部内では、補強鉄筋がない場合、ひびわれは中空鋼板および上側鋼板に沿って集中して発生した。しかし、補強鉄筋がある場合には、接合部内のコンクリートにも曲げおよびせん断ひびわれが分散して生じた。ただしこの構造では、補強鉄筋を配置しても耐荷力やじん性が必ずしも向上しなかった。

### (接合部の構造細目)

接合部では、引張り側の鋼材を必ず圧縮側の鋼板に溶接などにより定着させることが接合部での強度を確保するうえで重要である。またこの際定着に用いる鋼材の断面積は、引張り鋼材と同程度必要と考えられ、できるだけ断面の欠損のないような構造とするのが良い。また接合部内に生じるコンクリートの引張り応力に対してせん断補強筋を入れ強度増加を図ることは、オープンサンドイッチ構造では効果がある。しかし、サンドイッチ構造では効果は少ない。鋼材の定着とせん断補強を確実にする構造細目を満足していれば、母材以上の強度を接合部で確保できる。ただし鋼板にスタッドジベルを溶接して接合部を補強しても耐荷力の増加に及ぼす効果は少ない。

今回選定した構造細目が必ずしも最善とは限らないので、今後更に引張り鋼材の定着方法や断面欠損部の補強法など検討を進める必要がある。

### (接合部の設計)

接合部内の降伏荷重は、負曲げに対して鋼材に発生する曲げ引張応力とせん断引張応力との和で算定できる。正曲げに対して、通常の鉄筋コンクリートの曲げ解析の手法で降伏荷重を算定することができる。また接合部が母材以上の耐荷力を保有していることを載荷試験などで確認すれば、構造設計時に鉄筋コンクリートと同様に接合部の強度の検討を省略して良いと考える。

オープンサンドイッチ構造では、コンクリート部分のひびわれ幅の制限は従来の鉄筋コンクリート部材と同様の手法で行なえば良い。サンドイッチ構造では、鋼板が部材周囲に配置されているので材料の耐久性の観点からのひびわれ幅の制限は特に必要ないと考える。

(1991年9月30日受付)

## 謝 辞

本研究は、特別研究「ハイブリッド海洋構造物の設計

等に関する研究」の一環として実施されたものである。この際、横田 弘氏及び千葉照男氏（運輸省第二港湾建設局）には、実験とデータ整理に関し多大なる御尽力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 横田 弘, 清宮 理: 鋼・コンクリート合成部材での形鋼によるずれ止めの耐荷力, 港湾技術研究所資料 No595, 1987年9月, 24 p
- 2) 横田 弘, 清宮 理: 鋼-コンクリート合成はりのせん断補強鉄筋が終局耐力に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, 1987年, pp.531-536
- 3) 横田 弘, 清宮 理: 曲げおよびせん断を受けるハイブリッドはりの耐力特性, 港湾技研報告, Vol.29, No2, 1990年2月, pp.149-175
- 4) 横田 弘, 清宮 理: 鋼・コンクリート合成はりの疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集 11-2, 1989年, pp.57-62
- 5) 横田 弘, 清宮 理: 鋼コンクリート合成はりの疲労特性, 港湾技研資料, No658, 1989年9月, 23 p
- 6) Takeo FUKUDA: SPANNUNG UND FORMAENDERUNG DES ORTHOGONALEN, HOMOGENEN STABECKES OHNE AUSRUNDUNG, 土木学会誌, 第15巻第6号, 昭和4年6月, pp.433-459
- 7) Ingvar H.E.NILSSON: REINFORCED CONCRETE CORNERS AND JOINTS SUBJECTED TO BENDING MOMENT, National Swedish Building Research Document D7, 1973, 249 p.
- 8) 津野和男, 泉満明: コンクリート構造物の隅角部設計法(その1)-(その3), 土木技術 29巻, 第9号-第11号(連載)
- 9) Virach RUNGROJSARATIS and Tamon UEDA: DESIGN METHOD FOR CORNER CONNECTION BETWEEN SANDWICH AND OPEN-SANDWICH COMPOSITE MEMBERS SUBJECTED TO BENDING MOMENT Proc. of JSCE No402/V-10, Feb.1989, pp.169-177
- 10) 綿引 透, 若菜弘之, 津村直宣, 伊藤茂樹: 鋼板・コンクリート合成版, 隅角部に関する実験的研究, 土木学会第44回年次学術講演会(I部門), 平成元年9月, pp.314-315
- 11) 清宮 理, 横田 弘: 鋼・コンクリート合成構造の接合部の力学特性, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, 1989年, pp.75-80
- 12) 横田 弘, 清宮 理: 鋼・コンクリートハイブリッド構造のL型接合部の力学特性, コンクリート工学年次論文報告集 12, 1990年, pp.55-62
- 13) 土木学会: コンクリート標準示方書(昭和61年制定)
- 14) 横田 弘, 清宮 理: 鋼・コンクリートハイブリッドはりのひびわれ性状, 土木学会第45回年次学術講演会(V部門)平成2年9月, pp.802-803

港湾技研資料 No.717

1991・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 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 ニッセイエプロ株式会社

Published the Port and Harbour Research Institute

Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1991) 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 maching 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。