

運輸省港湾技術研究所

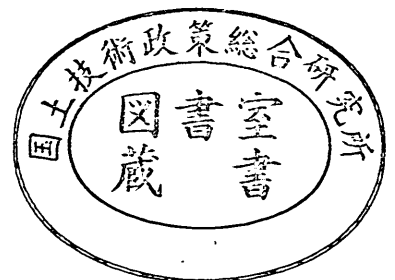
港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 24 NO. 2 JUNE 1985

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第24巻 第2号 (Vol. 24, No. 2) 1985年6月 (June 1985)

目 次 (CONTENTS)

1. An Effective Stress Analysis of Liquefaction at Ishinomaki Port during 1978 Miyagi-ken-oki Earthquake
..... Susumu IAI, Hajime TSUCHIDA and W. D. Liam Finn..... 3
(1978年宮城県沖地震の石巻港における液状化現象の有効応力解析
..... 井合 進・土田 肇・W. D. Liam Finn)
2. 不規則波に対する消波ブロックの安定性に関する実験的考察
..... 谷本勝利・原中祐人・山崎一雄.....85
(Experimental Study on the Stability of Wave Dissipating Concrete
Blocks against Irregular Waves.....Katsutoshi TANIMOTO,
Suketo HARANAKA and Kazuo YAMAZAKI)
3. 砂れん上の底質の浮遊過程を考慮した漂砂観測法に関する実験的研究
..... 入江 功・寺崎賢次・加藤一正... 123
(Laboratory Study on the Observation Methods of Sediment Transport
as Focussed on Suspension of Sediment above Sand Ripples
..... Isao IRIE, Kenji TERASAKI and Kazumasa KATOH)
4. 底質の移流沈降過程を入れた航路・港内埋没の予測
..... 入江 功・栗山善昭... 157
(Prediction of the Rate of Sedimentation in Channels and Basins by
Considering the Deposition Process Due to Convective Move of Bed
Materials..... Isao IRIE, Yoshiaki KURIYAMA)
5. 波力発電ケーソンに設置されたウェルズタービンの出力計算法
——波エネルギーに関する研究 第4報——
..... 高橋重雄・鈴木諭史・明瀬一行... 205
(Turbine Power of Pneumatic-type Wave Power Extractors Utilizing
Caisson Breakwaters
——A Study on Development of Wave Power, 4th Report——
..... Shigeo TAKAHASHI, Satoshi SUZUMURA and Kazuyuki MYOSE)
6. 淡塩二層密度界面の抵抗と混合特性.....中野 晋・鶴谷広一・一戸秀久... 239
(Friction and Entrainment at the Interface of Two-Layered Stratified
Flow Susumu NAKANO, Hiroichi TSURUYA and Hidehisa ICHINOHE)

7. コンクリートかさ上げの付着特性……………林 洋介・佐藤勝久… 275
(Bond Characteristics of Concrete Overlays
…………… Yousuke HAYASHI and Katsuhisa SATO)
8. 飽和砂地盤上の盛土の破壊振動実験と円形すべり安定解析
……………上部達生・北澤壮介・檜垣典弘… 305
(Shaking Table Tests and Circular Arc Analysis for Large Models
of Embankment of Saturated Sand Layers……………Tatsuo UWABE,
Sosuke KITAZAWA and Norihiro HIGAKI)
9. 土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)
——大口径ポリウレタンライニング管の耐摩耗性に関する現地実験
(苫小牧, 岸和田)——……………岡山義邦・浜田賢二・釜場和宏・中村裕二… 361
(Study on the Wear of Slurry Pipelines (2nd Report)——Field Tests
on Wear Resistance of Large Polyurethane Lined Pipe——
……………Yoshikuni OKAYAMA, Kenji HAMADA, Kazuhiro UKEBA
and Yuji NAKAMURA)

7. コンクリートかさ上げの付着特性

林 洋 介*・佐藤 勝 久**

要 旨

コンクリートかさ上げ舗装の中の付着かさ上げ舗装における実施上の課題である付着特性等について試験を行うとともに、新しい付着工法の提案を行った。主要な結論を以下に示す。

- (1) 付着強度を高めるには、既設コンクリート版に対しショットブラストによる表面処理が著しい効果を発揮することが認められた。
- (2) 付着特性として、せん断強度が曲げ強度、引張強度に比して低い水準に留まることがわかった。したがって、付着強度を確保するにはせん断強度の大きい工法が必要であることを指摘した。
- (3) 新しい付着工法として既設コンクリート版に溝切りを行うことを提案した。溝切りにより、付着強度増加の効果が認められ、また溝が大きいほど効果が顕著であった。
- (4) かさ上げコンクリートの乾燥収縮によるひびわれ発生の恐れは、膨張コンクリートの使用により低減することがわかった。

* 土質部 主任研究官 (舗装構造解析担当)

** 土質部 沿走路研究室長

7. Bond Characteristics of Concrete Overlays

Yousuke HAYASHI*

Katsuhisa SATO**

Synopsis

Concrete overlays can be classified according to the degree of bonding between the overlay and the existing pavement slabs. They are fully bonded, partially bonded and unbonded overlays. The thickness of a fully bonded overlay is the thinnest of the overlay types. The advantages of the thinner overlays are lower cost and fewer problems in matching adjacent facilities. In airport pavements of Japan, however, a bonded overlay has not been in popular, because some information indicates that complete bonding is not obtained, and that bond characteristics have not been revealed.

The purposes of this research are to investigate the critical factors that affect bonding and to propose some effective means that ensure higher bonding. As a result, the following main conclusions have been obtained.

- (1) The method of surface preparation by shot blasting achieves considerable bond strength.
- (2) The bond strength has been investigated by the three methods, that is, a bending strength test, a tensile strength test and a shearing strength test. The shearing strength has been extraordinarily low, even though the other two strengths have been sufficient. Therefore, in case of trying to make bonded overlays more reliable, it is necessary to develop the means to obtain higher shearing strength.
- (3) The proposed new bonding technique which is to groove on the surface of existing concrete slabs showed a good efficiency to improve the shearing strength of bonding.
- (4) It has been found that the anxiety about cracking by drying shrinkage of overlay concrete slabs can be reduced by the addition of expansion agents into overlay concrete.

* Senior Research Engineer, Soils Division.

**Chief of Runways Laboratory, Soils Division.

目 次

要 旨	275
1. まえがき	279
2. 付着特性試験の概要	279
2.1 試験の種類	279
2.2 付着施工条件	280
2.3 コンクリートの配合および性状	281
3. 付着せん断強度試験法の検討	283
3.1 せん断強度試験法の種類	283
3.2 付着せん断強度試験法の特性と評価	284
4. 付着特性の検討	290
4.1 表面処理の効果	291
4.2 付着材の効果	291
4.3 コンクリート劣化の影響	293
4.4 付着強度の特性	293
5. 新しい付着工法の開発	294
5.1 アンカー工法	294
5.2 溝切り工法	296
6. かさ上げコンクリートの乾燥収縮の検討	297
6.1 試験概要	297
6.2 試験結果	300
6.3 乾燥収縮応力の検討	301
7. 結 論	303
8. あとがき	303
参考文献	303

1. まえがき

空港舗装は、いったん舗装され交通に開放されると維持補修によって舗装機能を保持し、供用寿命を延していく土木施設であることから、いかに維持補修を行うかは舗装の供用性に大きく影響する。特に近年の航空需要の増大は、航空機の大形化、運航回数の増加を招き、維持補修の重要性が増してきたことから、適切な維持補修工法の確立が望まれているところである。

空港コンクリート舗装については、その補修工法として、打換え工法およびかさ上げ工法（アスファルト舗装によるかさ上げ、コンクリート舗装によるかさ上げ）があり、工法の選択は、舗装路面の状況や、施設使用条件、経済性、耐久性等を総合的に判断して行うことになる。この中で、コンクリート舗装によるかさ上げ工法としては、既設舗装とかさ上げ舗装との間に歴青材料または粒状材料による分離層を設けて両舗装間の付着を断つ分離かさ上げ工法、既設舗装の上にかさ上げ舗装を直接敷設する直接かさ上げ工法、および既設舗装表面に付着材料を塗布した後にかさ上げ舗装を敷設して両舗装を完全に付着させ一体とする付着かさ上げ工法の三つがある^{3),4)}。しかし、一般的には、分離かさ上げ工法および直接かさ上げ工法の2工法がおもな工法として採用されており、付着かさ上げ工法については、まだ実績が乏しく、十分信頼性のある工法とはいいがたいので、その適用には慎重を期す必要があるとされている。この理由としては、付着かさ上げ工法は、所要かさ上げ舗装厚が最小で経済的な工法であるが、既設舗装とかさ上げ舗装との間の付着特性が明らかになっていないため、信頼性の高い工法として認められていないことが上げられる。

この付着かさ上げ工法について米国では、アイオワ州における道路での実施例を初めとしてかなりの施工実績があり、現場に適用可能な技術としているようであるが、かさ上げ版のはく離、あるいはひびわれの発生が報告されている例もあり、技術的には十分確立したものとはなっていないようである^{5),6)}。日本における実施例は、道路舗装も含めごく少数である³⁾。空港舗装の施工例を見ると、東京国際空港のターミナル地区エプロン改良工事（昭和58年）として試験的に実施されている^{6),7)}。改良工事区域の既設コンクリート版は施工後20年が経過し、老朽化が進んでおり、大型機の利用に資さなくなっていた。このため、かさ上げによる維持補修を行うこととし、経済的に最も有利な付着かさ上げが試験的に実

施された。施工後の経過について見ると、全般的な供用性は十分満足されたが、コンクリート版の隅角部でははく離が一部で発生し、当初予想された付着強度が十分発現されない結果も見られた。

本研究は、この試験施工の結果を受けて実施したもので、既設コンクリート版とかさ上げコンクリート版の付着特性を明らかにし、信頼性の高い付着工法の開発を目的としたものである。ここでは、付着特性に影響すると考えられる既設コンクリート版の表面処理、付着材の種類、および既設コンクリート版の劣化等について検討するとともに、こうした検討結果を受けて信頼性の高い付着工法の提案を行った。またかさ上げコンクリート版は付着により拘束されていることから、乾燥収縮によるひびわれ発生の可能性があるため、かさ上げコンクリートの材料特性についても検討した。

2. 付着特性試験の概要

2.1 試験の種類

既設コンクリート版とかさ上げコンクリート版の付着特性を見るため以下の試験を実施した。

(1) 曲げ強度試験

JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」によって15×15×53cmの角柱供試体を作製し、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験法」によって行った。

付着特性を試験した曲げ供試体は、図-1に示すように横方向に対する中心線上に付着面が生じるよう片側だけの既設コンクリートの供試体を作製し、かさ上げ施工時に付着表面を処理後、残りの部分にかさ上げコンクリートを打設した。

(2) 引張強度試験

JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」によって、φ15×30cmの円柱供試体を作製し、JIS

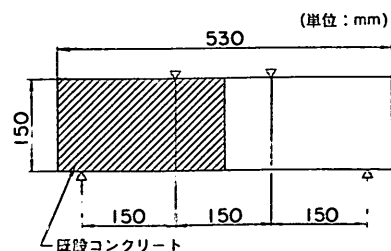


図-1 曲げ強度試験用供試体

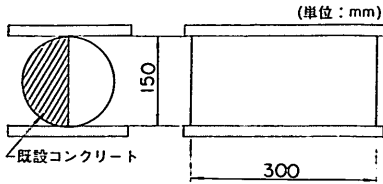


図-2 引張強度試験用供試体

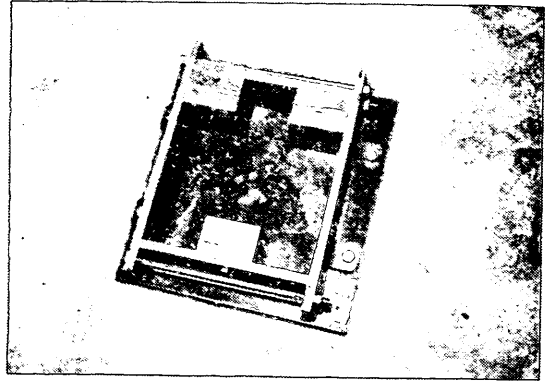


写真-1 セン断強度試験用型枠

A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」によって行った。

付着特性を試験した引張供試体は、図-2に示すように縦方向に対する中心線上に付着面が生じるよう片側だけの既設コンクリートの供試体を作製し、かさ上げ施工時に付着表面を処理後、残りの部分にかさ上げコンクリートを打設した。

(3) セン断強度試験

付着面の曲げ強度および引張強度は、JIS に規定されているコンクリートの強度試験法を準用して評価できるが、せん断強度については規定がないため、付着面のせん断強度を評価する方法が新しく必要になってくる。

ここでは、3. の検討結果を受けて以下のような試験法を採用することとした。

せん断強度試験用供試体は 図-3 に示すような高さ 25 cm、幅 22.5 cm、厚さ 10 cm の角柱材で、コンクリートにせん断力が作用するように欠損部分を設け、斜線部分をあらかじめ既設コンクリートで作製し、両側にかさ上げコンクリートを打設した。供試体作製用型枠を写真-1 に、またせん断強度試験状況を写真-2 に示す。

以上の付着特性関連の試験以外に、コンクリートの強

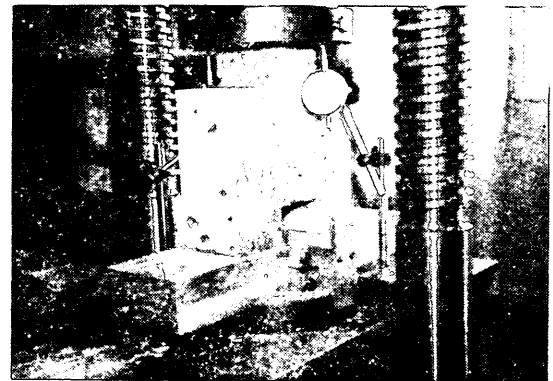


写真-2 セン断強度試験状況

度試験として、圧縮強度試験を実施している。圧縮強度試験は、JIS A 1132「コンクリート強度試験用供試体の作り方」によってφ15×30cmの円柱供試体を作製し、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によった。

2.2 付着施工条件

付着かさ上げ舗装においては既設コンクリート版とかさ上げコンクリート版の付着をいかに確保するかが大きな問題であり、このため既設コンクリート版に施す表面処理等の付着工法が重要になってくる。

表面処理工法としては、一般的にショットブラスト(またはサンドブラスト)、コールドブレンダー、ブラシ処理等が考えられる。東京国際空港のターミナル地区の試験舗装の結果⁷⁾では、コールドブレンダーは安価であり、また中性化層を除去することも可能であるが、切削面の骨材がゆるむ可能性があること、またブラシ処理では、レイタンスすら除去できず表面処理としては不十

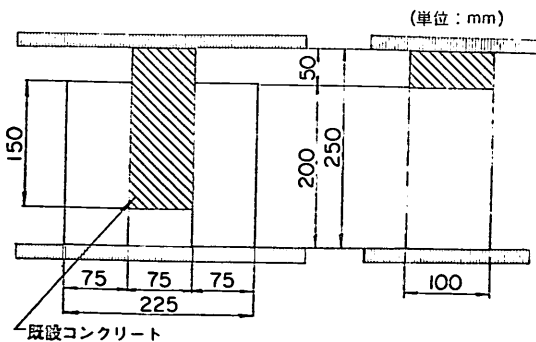


図-3 セン断強度試験用供試体

付着施工条件			付着施工略図
表面処理	表面乾湿	付着材	
無	湿	モルタル	
シ	湿	モルタル	
ョ	干	モルタル	
ツ	干	エポキシ樹脂	
ブ	干	エポキシ樹脂	
ラ	干	エポキシ樹脂	
ス	湿	ラテックスモルタル	

図-4 付着施工工法

分であったことを報告している。こうしたことから本試験では、ショットブラストを採用し、その効果を見ることとした。さらに付着材の効果、および既設コンクリート版表面の乾湿状況の影響も付着強度を左右する重要な要因であることから、図-4に示す付着施工条件を設定し試験を行った。

(1) ショットブラスト処理

ショットブラスト処理に用いた機器は、新東工業社製 SCB-2B であり、φ 1.4~1.7 mm の鋼球を投射速度 73m/sec、投射密度 100kg/m²、目標処理厚さ 1mm として施工した。ショットブラスト処理を行わないものはコンクリート表面をワイヤーブラシで洗った。写真-3にショットブラスト処理面を示す。

(2) 施工面の乾燥

付着表面を乾燥状態でかさ上げコンクリートを施工する供試体は、施工を行う 1 週間前から温度 20°C、湿度

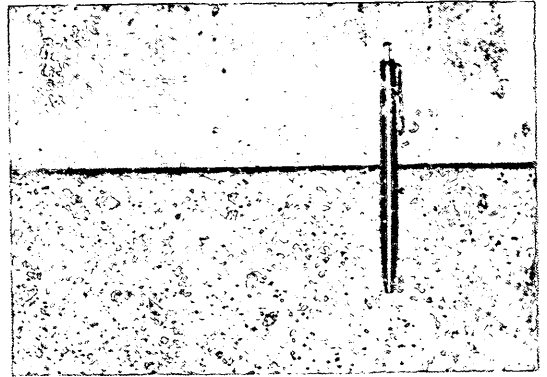


写真-3 ショットブラストによる処理面 (下が処理後)

60%の条件下において乾燥を行った。

(3) 付着材

モルタル：モルタルの配合は、かさ上げコンクリート中のモルタルと同一水セメント比で、S/C は 2.0 とした。所定の配合条件で練り混ぜられたモルタルを刷毛によりかさ上げコンクリート打設直前に塗布した。

エポキシ樹脂：エポキシ樹脂には二液性エポキシ樹脂を用いた。樹脂塗布前は乾燥状態とし、刷毛によりかさ上げコンクリート打設直前に塗布した。

ラテックス：ラテックスには、酢酸ビニル系のものを用い、S/C=2.0、フロー約180のモルタルにセメント重量に対して30%を混和して用いた。ラテックス塗布面は湿潤状態とし、刷毛によりかさ上げコンクリート打設直前に塗布した。

(4) かさ上げコンクリートの施工

所定の条件で練り混ぜたコンクリートは、既設コンクリートを収納した型枠中に棒状バイブレーターを用いて打設し、脱型はコンクリート打設24時間後に行った。以後試験材令まで温度20°Cの水中で養生した。

2.3 コンクリートの配合および性状

(1) 既設コンクリート

既設コンクリートとしては、性状変化がほぼ安定すると思われる材令3か月のコンクリートを使用する。コンクリートの配合条件は、一般的な舗装用コンクリート

表-1 選定した既設コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	目 標 スランブ (cm)	目 標 空 気 量 (%)	目 標 単 位 セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	単 位 材 積 粗 骨 容	単 位 量 (kg/m ³)			
						C	W	S	G
25	2.5±1	4.0±1	300	46.0	0.73	300	138	810	1110

コンクリートかさ上げの付着特性

を目標として、コンクリートの設計基準曲げ強度 50kgf/cm² (材令28日) を満足することを条件に表-1 に示すように選定した。また選定した配合で練り混ぜたコンクリートのフレッシュおよび硬化後の性状を表-2 に示す。

(2) かさ上げコンクリート

かさ上げコンクリートの配合は、既設コンクリートの配合と同様な条件のもとで行っているが、施工性を確保するため流動化剤を使用すること、およびコンクリート運搬中のスランプ低下を考慮することの2条件を加え、表-3 に示すような基準配合を選定した。

かさ上げコンクリートの版厚は薄いため、施工には5 cm 以上のスランプが必要と考えられる。図-5はスラ

ンプ低下と経過時間の関係を示した例⁷⁾である。東京国際空港の試験工事では、運搬時間と打設待ち時間の和が20~60分間となっていることから、スランプの低下は最大で5 cm 程度発生するものと考えられる。したがってこの研究では、かさ上げコンクリートのスランプに対する条件として、スランプ2.5cmのコンクリートに流動化剤を添加しスランプを10cmとした後、スランプが5 cm となるまでアジテートを行いながら経時させることにした。

流動化剤の添加量とスランプ上昇の関係を見るため、基準配合から単位水量を減じ、0スランプ状態を初期値として両者の関係を求めた。

表-2 既設コンクリートのフレッシュおよび硬化後の性状

W/C (%)	単粗骨材容積	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	強度 (kgf/cm ²) (材令 28日)	
							圧縮	曲げ
46.0	0.73	300	138	3.0	3.8	23.0	444	52.5
				3.0	4.0	23.0	435	52.1
				3.0	3.8	23.0	432	54.0
				(3.0)	(3.9)	(23.0)	(437)	(52.9)

(注) () 内は平均値

表-3 選定したかさ上げコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)		目標空気量 (%)	目標単位セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	単粗骨材容積	単位量 (kg/m ³)			
							C	W	S	G
20	初期値	2.5±1	4.0±1	300	47.0	0.67	300	141	882	1018
	流動化	10.0±1								
	打設時	5.0±1								

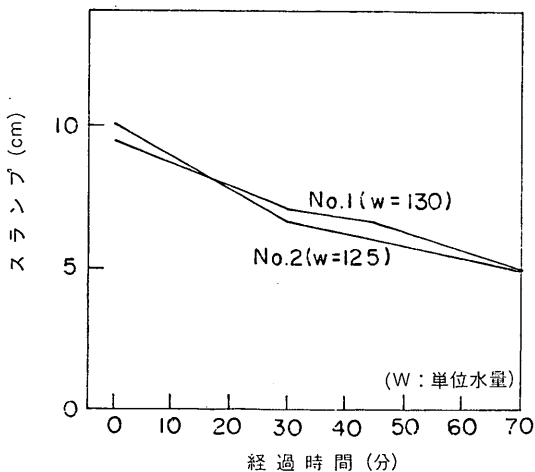


図-5 スランプの経時変化

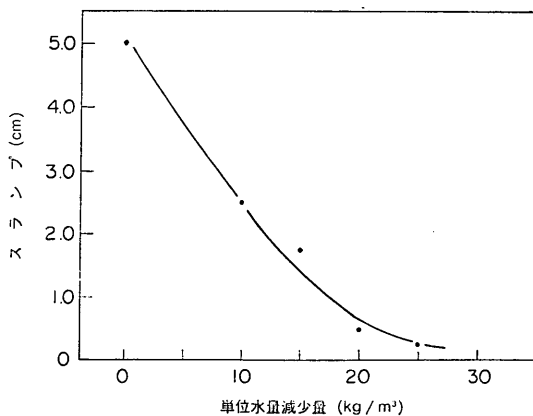


図-6 単位水量とスランプの関係

表-4 かさ上げコンクリートのフレッシュおよび硬化後の性状

W/C (%)	単 位 粗骨材 容 積	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	流 動 化 剤 使 用 量 (cc/C=100 kg)	スランブ		空 気 量 (%)	温 度 (°C)	強 度 (kgf/cm ²) (材令 28日)	
					測 定 時	(cm)			圧 縮	曲 げ
47.0	0.67	300	141	1800	初期値	2.5	4.8	18.0	492	54.2
					流動化	10.0	4.5	18.5	469	54.6
					打設時	5.0	4.1	19.0	483 (481)	56.5 (55.1)

(注1) ()内は平均値

(注2) 流動化剤：日曹マスタービルダーズ「NP-20」

図-6は基準配合をもとにした単位水量の減少量とスランブの関係を見たもので、スランブ1cm当りの単位水量の減少量は、スランブ2.5cmから0.5cmの間で約5kg/m³であるから、スランブ2.5cmから0スランブ状態にするには基準配合の単位水量を12kg/m³減じればよいことになる。

次に、このようにして作られた0スランブのコンクリートに流動化剤を添加した場合のスランブ上昇の様子を見たものが図-7である。スランブを1cm増加させるために必要な流動化剤の使用量は、セメント100kg当り約230ccとなっている。したがって、スランブ2.5cmのコンクリートをスランブ10cmとするには、セメント100kg当り1800ccの流動化剤を添加することになる。なお、スランブを1cm増加させるために必要な流動化剤の使用量は、一般にはセメント100kg当り100~120ccとされており、ここでの値は約2倍になっているが、コンクリートが硬練りの場合に認められる一般的な傾向とされている。

以上のように選定した配合で練り混ぜたかさ上げコンクリートのフレッシュおよび硬化後の性状を表-4に示

す。

3. 付着せん断強度試験法の検討

コンクリートのせん断強度については、従来から種々の試験法が提案されているものの、いまだ標準的な試験法が確立されていないという状況にある。したがって、付着面のせん断強度を評価するため、新しい試験法が必要になってくる。ここでは、付着供試体の作成の容易性等を勘案して、2.1(3)で示した試験法を決めた。以下ではこの試験法の特性についての検討結果を示す。

3.1 せん断強度試験法の種類^{8),9)}

・直接せん断試験法

直接せん断試験法としては図-8(a)に示す直接一面せん断試験法、あるいは同図(b)の直接二面せん断試験法が知られている。(a)の方法によると、破壊状況から観察して、割裂破壊に類似した破壊を示すことがあり、せん断によるすべり破壊とはみなせないとされている。(b)の方法では、曲げ応力が生ずるし、図中に示すように斜めの圧縮応力も受ける。さらに、場合によってはせん断面外での曲げひびわれ、あるいは斜引張破壊が発生することもあるとされている。

・ルーマニア式せん断試験法

直接せん断試験法の欠点を改良するために提案された新しい試験法の一つである(図-8(c))。この試験法では、一樣なせん断力を発生させるため、せん断面の上下位置に切欠きを付けるとともに載荷方法にくふうがなされている。ただこの方法では、補強鉄筋を入れないと、せん断面に沿って斜引張破壊が発生し、また切欠き部にも配筋が必要とされており、供試体の構造は複雑である。

・Mohrの破壊包絡線

2軸あるいは3軸の複合応力状態での破壊試験結果よりMohrの破壊包絡線を描き、直応力 $\sigma = 0$ のときのせん断応力をコンクリートの真のせん断応力とみなす方法である。

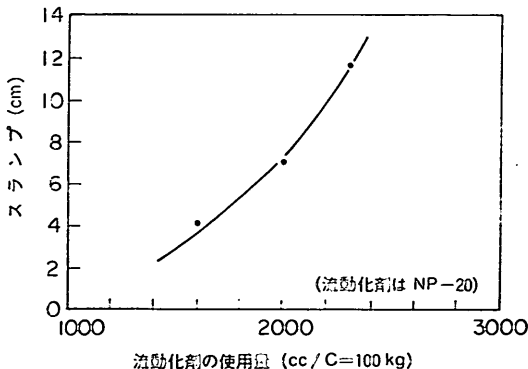


図-7 流動化剤の使用量とスランブの関係

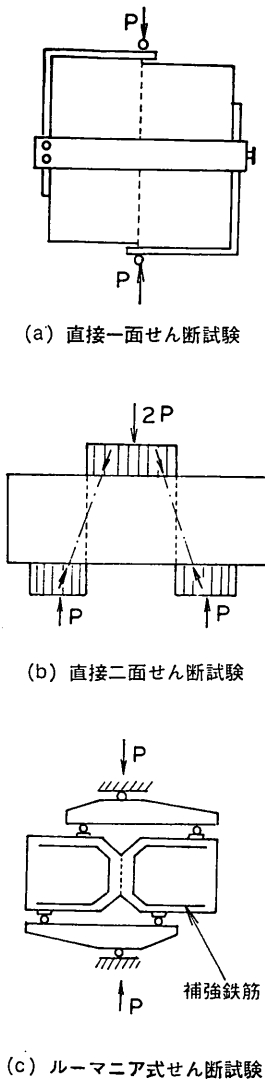


図-8 せん断強度試験法

以上の3試験法がせん断強度試験法のおもなものであるが、かさ上げ舗装における付着特性を評価するせん断強度試験法としては、せん断面が特定できないMohrの破壊包絡線法、および補強鉄筋を必要とするルーマニア法等は不適である。

そこで付着特性を評価するせん断強度試験法として2.1(3)で示したような方法を考えたが、これは、直接せん断試験法の分類に入るものであり、上で述べたような試験上の問題点が考えられる。このため、本試験のせん断強度試験としての適用性について、FEMによる応力

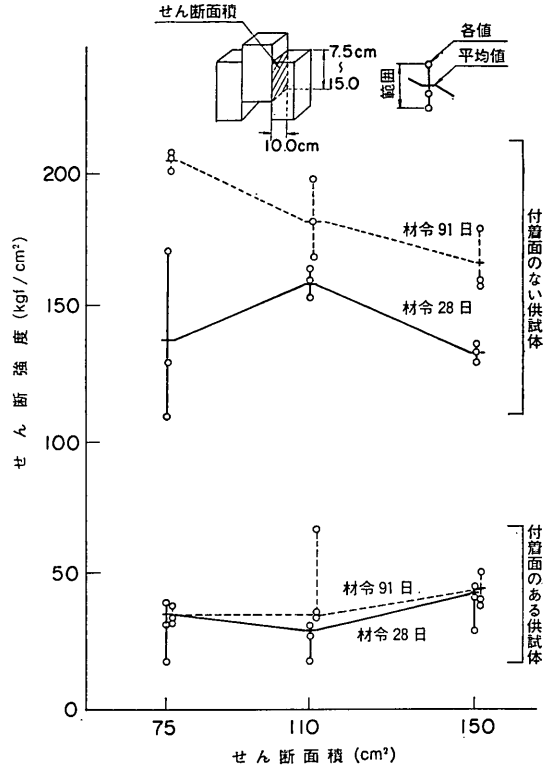


図-9 せん断面積とせん断強度の関係

分布解析等から検討する。なお、以下ではこれらの解析に先立ち、本試験方法に対するせん断面積の影響および打継ぎ方向の影響についても述べる。

3.2 付着せん断強度試験法の特性と評価

(1) せん断面積の影響

図-9にせん断面積とせん断強度の関係を示す。せん断面積とせん断強度の間には一定の傾向は認められず、試験誤差の範囲内にあるものと思われる。なお、せん断面積の違いによる試験値変動に明確な相違は認められなかったが、全体的に見てせん断面積の大きい方が、データのばらつきが小さいようである。

(2) 打継ぎ方向の影響

せん断強度試験用供試体は図-10(a)に示すように付着面と平行な方向に打設している。しかし、実際の施工では、同図(b)に示すように付着面に対し垂直な方向に打設することになる。そこで同図(b)に示すような打設方向で供試体を作製し、(a)の場合と比較することにより、供試体作製における打設方向の影響について検討した。結果(表-5)を見ると、(b)の場合が(a)の場合より約10%の強度

表-5 打継ぎ方向の影響

	シ ョ ッ ト 処 理	付 着 材	養 生	せん断強度 (kgf/cm ²)	
				材令28日	材令91日
(a) 水平打継ぎ	有	モタル	水中	43.8 (100)	44.6 (100)
(b) 垂直打継ぎ	有	モタル	水中	36.2 (82.6)	40.0 (89.7)

(注1) 3供試体の平均値, () 内は (a) 水平打継ぎの強度を100とした比率

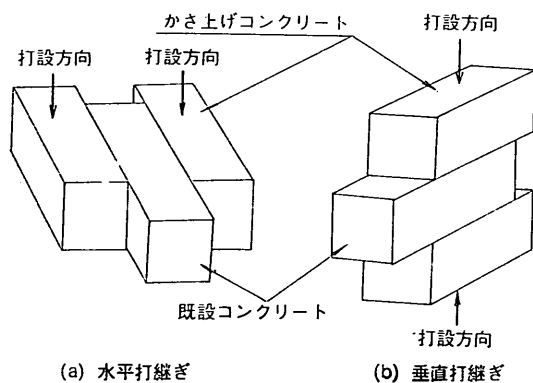


図-10 水平打継ぎと垂直打継ぎ

低下が見られ, (a)によれば高めの評価を得ることになる。また(b)で行う方が現場の施工状況を反映していることもあり, 望ましいといえる。しかし, 供試体の作成の容易性 ((b)では, かさ上げコンクリートを同時に打設できない) および両者の結果に大きい差がないことから, 実用的には, (a)の打設方法で十分信頼できる評価が行えるものと考えられる。

(3) 応力・変形特性

本試験で採用したせん断試験用供試体の応力・変形特性を見るため, 荷重と縦方向変位 (載荷板間の変位で測定) の関係を見る。

図-11は, 既設コンクリートのみで一体的に作製した付着面のない供試体の試験結果である。荷重と変位は破壊に至るまで直線的に変化しており, また材令による直線の傾きの違いは認められない。

図-12は表面処理としてショットブラストを行い, 表面乾燥状態でモルタルを塗布した付着供試体の結果である。破壊点まで直線的に変化しているのは図-11と同じであるが, 直線の傾きは小さくなっている。また, 材令

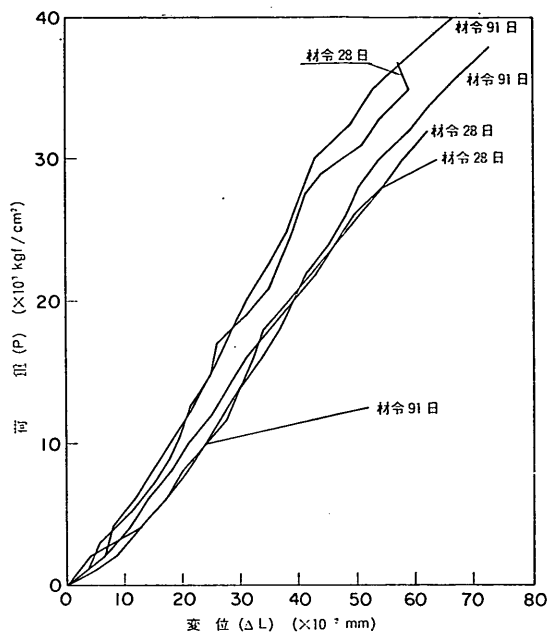


図-11 せん断強度試験の荷重・変位曲線 (付着面のない既設コンクリート供試体)

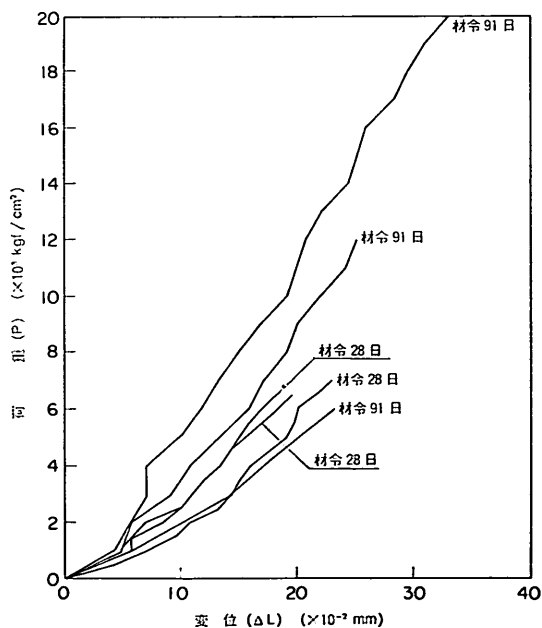


図-12 せん断強度試験の荷重・変位曲線 (付着供試体, 表面処理: ショットブラスト, 付着材: モルタル)

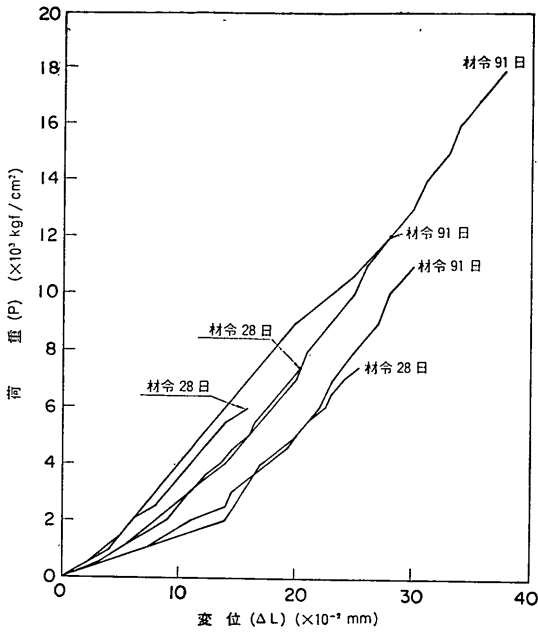


図-13 セン断強度試験の荷重・変位曲線
(付着供試体, 表面処理: ショット
プラスト, 付着材: エポキシ樹
脂)

に対する直線の傾きを見ると, 結果にばらつきがあるが, 材令が進むにしたがって傾きも大きくなる傾向が認められる。これは, 付着材として使用したモルタルの強度増加の結果と考えられる。

図-13はショットプラストで表面処理を行い, 付着材としてエポキシ樹脂を使用した付着供試体の結果である。直線の傾きには, 材令による差は認められず, モルタルの場合とは異なっている。

(4) 有限要素法による応力分布の解析

せん断試験用供試体が載荷時に受ける応力分布を有限要素法により解析する。図-14に要素分割および境界条件を示す。解析は平面歪解析とし, また供試体の対称性を考慮した。

a) 付着面のない供試体の応力分布

付着面のない供試体の応力分布を求めるため, 既設コンクリートのみで一體的に作製した供試体のせん断強度試験の破壊時の荷重条件で計算した。設定条件は次のとおりである。

- 既設コンクリートの弾性係数 $E_c=350,000 \text{ kgf/cm}^2$
- コンクリートのポアソン比 $\nu=0.15$
- 載荷重 $P=35,000 \text{ kgf}$

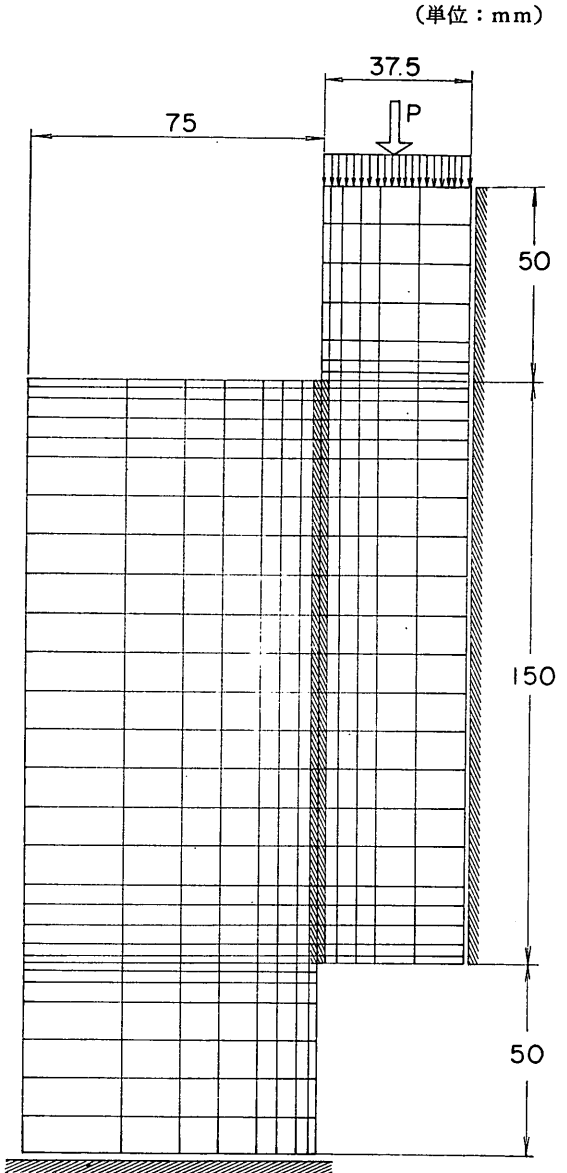


図-14 要素分割および境界条件

上記の条件のみで解析を行うと, 破壊点(材令91日)における平均的な破壊点として載荷重 $P=35,000 \text{ kgf}$, 変位 $\Delta L=0.06 \text{ cm}$ に設定した, 図-11参照)の変位に比較して小さくなるため, せん断弾性係数 G_c と変位量の関係を 図-15 のとおり求め, 変位の計算値が実測値とほぼ一致するように $G_c=10,000 \text{ kgf/cm}^2$ として計算した。

解析結果として, 図-16にせん断面の σ_y (面と平行方

向の応力)の分布, 図-17にせん断面の σ_x (面と垂直方向の応力)の分布, 図-18にせん断面の τ (せん断応力)の分布を示す。この結果を見ると, せん断応力 τ はほぼ均等に分布しているが, 直応力 σ_x はせん断面端部で大きな引張力として分布することを示している。図-19は, このときの最大主応力の分布を示したものであるが, せん断面に沿って斜め方向に引張力が発生し, せん断面の下部にいくにしたがい大きくなっている。この引張応力

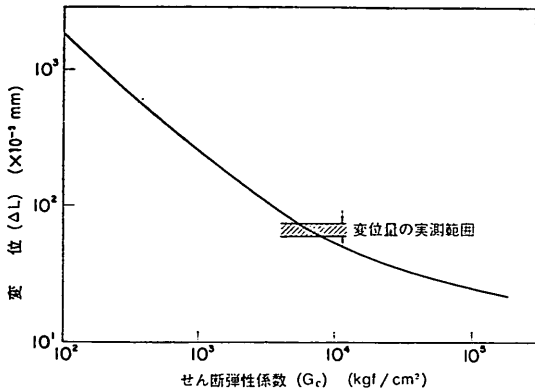


図-15 せん断弾性係数と変位の関係

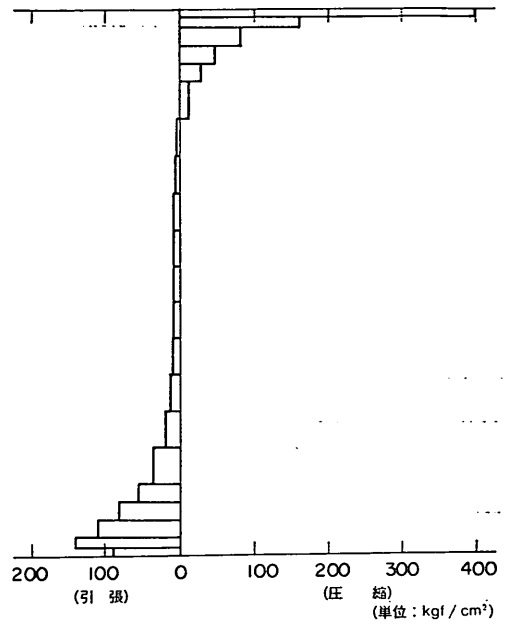


図-17 せん断面の σ_x (面と垂直方向の応力)の分布(付着面のない既設コンクリート供試体)

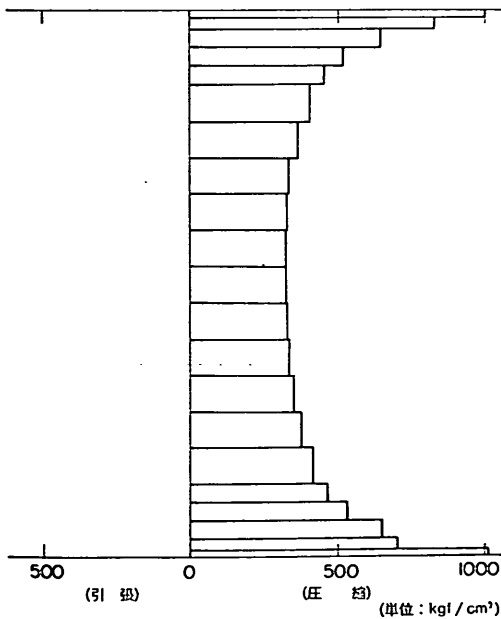


図-16 せん断面の σ_y (面と平行方向の応力)の分布(付着面のない既設コンクリート供試体)

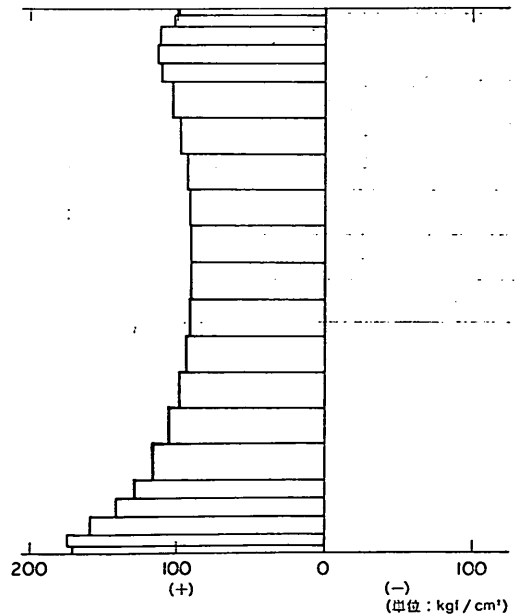


図-18 せん断面の τ (せん断応力)の分布(付着面のない既設コンクリート供試体)

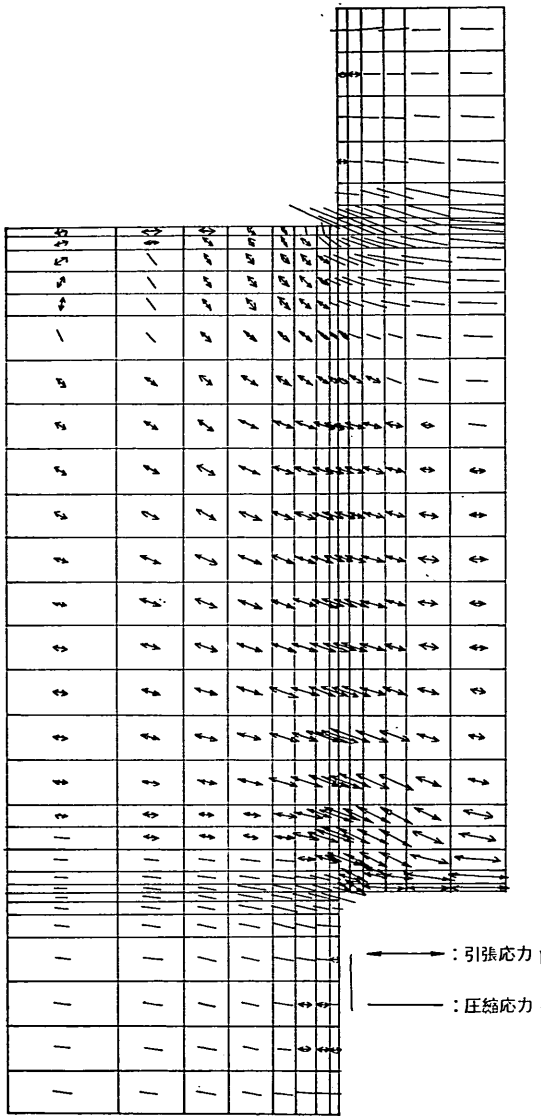


図-19 最大主応力分布図（付着面のない既設コンクリート供試体）

によりひびわれが発生し、純粋なせん断破壊にならないことを示している。実際、付着面のない既設コンクリート供試体の破壊時の状況を見ると（写真-4）、せん断面に沿って斜め方向のひびわれが発生しており、この方向と直角な方向に大きい引張応力が作用していたことを示している。

b) 付着面のある供試体の応力分布

付着面のある供試体の応力分布を求めるため、ジョッ

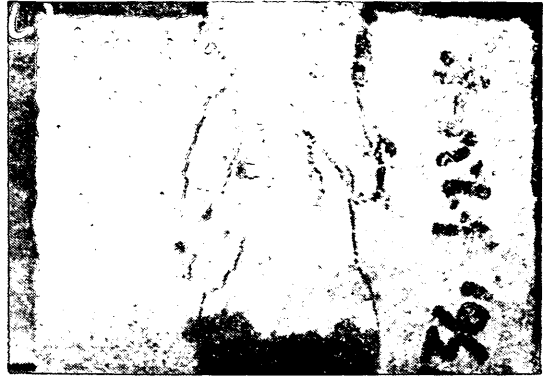


写真-4 付着面のない既設コンクリート供試体のせん断強度試験の破壊時におけるひびわれ状況

トブラストで表面処理を行い、付着材としてエポキシ樹脂を使用して作製した付着供試体のせん断強度試験の破壊時の荷重条件で計算した。設定条件は次のとおりである。

- 既設コンクリートおよびかさ上げコンクリートの弾性係数 $E_c=350,000\text{kgf/cm}^2$
- コンクリートのポアソン比 $\nu=0.15$
- コンクリートのせん断弾性係数 $G_c=10,000\text{kgf/cm}^2$
- 載荷重 $P=15,000\text{kgf}$

この条件のみで解析を行うと、変位の計算結果が破壊点（材令91日における平均的な破壊点として載荷重 $P=15,000\text{kgf}$ 、変位 $\Delta L=0.03\text{cm}$ 、図-13 参照）の変位より小さくなるため、図-14に示す斜線部を付着層として、付着層の弾性係数を修正し、変位の実測値に近い値が得られるようにした。図-20は付着層の弾性係数 E_f と変

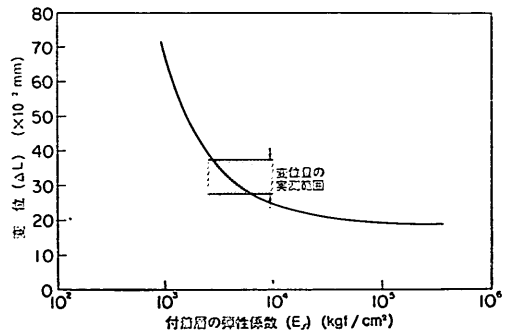


図-20 付着層の弾性係数と変位の関係

位の関係を示したものである。先に見たように、荷重と変位は破壊点まで直線的に変化しているため、破壊時まで付着層の弾性係数は変化しないものと考えられることから、図-20より、 $E_f=5,000\text{kgf/cm}^2$ で一定として計算した。

解析結果として、図-21に付着面の σ_y (面と平行方向の応力) の分布、図 22に付着面の σ_x (面と垂直方向の応力) の分布、図 23に付着面の τ (せん断応力) の分布を示す。この結果を見ると、面と平行方向の応力はほとんど発生しておらず、面と垂直方向の応力は、付着面下端部で引張応力が見られるが値は大きくはなく、またせん断応力はほぼ均等な分布になっている。したがって、付着面のある供試体では、付着面の平行なずれによるせん断破壊に近い状態が得られるものと考えられる。

(5) せん断強度試験法の評価

以上の試験結果および解析結果から、ここで採用したせん断強度試験法のまとめを行う。

・せん断面積の影響

せん断面積の影響は認められなかった。しかし、せん断面積が大きい方が、データのばらつきは小さく、安定した結果が得られるようである。

・打継ぎ方向の影響

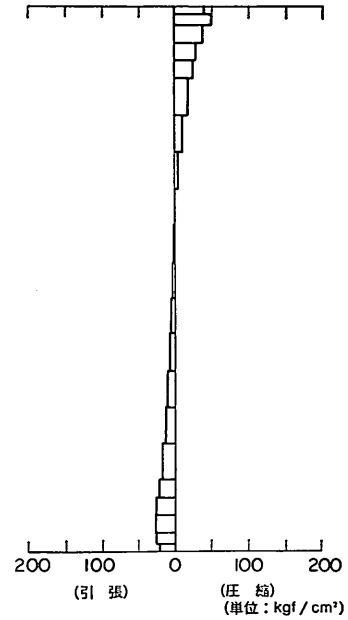


図-22 付着面の σ_x (面と垂直方向の応力) の分布 (付着供試体)

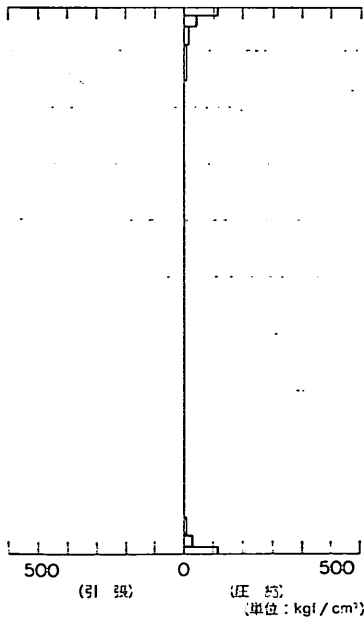


図-21 付着面の σ_y (面と平行方向の応力) の分布 (付着供試体)

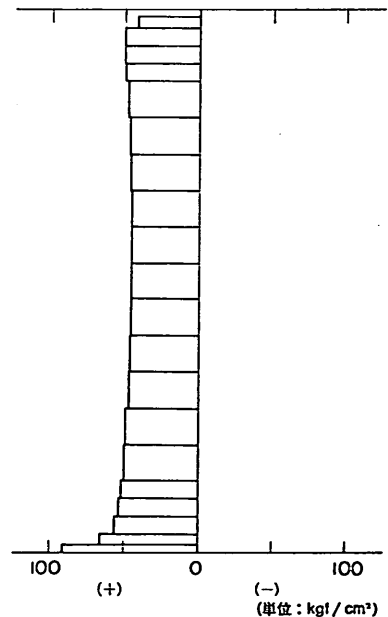


図-23 付着面の τ (せん断応力) の分布 (付着供試体)

コンクリートかさ上げの付着特性

打継ぎ方向の影響は今回の試験結果では若干認められたが、大きく影響するものではないと考えられる。

・応力分布特性

既設コンクリートのみで一体的に作製した付着面のない供試体では斜引張破壊が見られるが、付着面のある供試体ではせん断破壊に近い状態が得られるようである。

本試験法の目的は、簡易な方法によりコンクリート版間の付着強度を求めるところにある。したがって、真のコンクリートのせん断強度を求めることより、上下のコンクリート版に作用する水平力に対する耐力を評価することに主眼がある。この観点からすれば、今回の試験法は付着強度を評価する試験法として妥当なものと考えられる。

4. 付着特性の検討

各種条件下における付着特性を材令28日および91日における曲げ強度、引張強度およびせん断強度で評価する。評価にあたっては、付着強度を付着面のない一体的に作製した供試体による試験結果と比較することにより、それぞれの特性を検討する。表-6は既設コンクリートのみで一体的に作製した付着面のない供試体の強度試験結果である。材令28日から4か月までの強度の伸びは大きい、それ以降の強度の伸びはほとんど認められず、4か月以降の強度発現は収束してしまうことを示している。また、各強度の圧縮強度に対する比は、曲げ強

度1/8~1/9, 引張強度1/13~1/14, せん断強度1/4~1/5で、これらの値は従来コンクリートの強度に関して認められている標準的な値と近いものである。

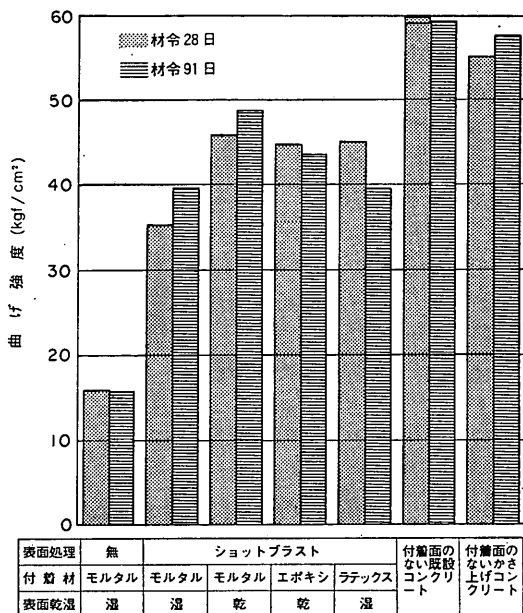


図-24 曲げ強度試験結果

表-6 既設コンクリートの強度 (単位: kgf/cm²)

打設後材令	28日	4か月	6か月
付着後材令	—	28日	91日
圧縮強度	437	523	551
曲げ強度	53.1	59.3	59.3
引張強度	31.9	40.6	38.4
せん断強度	114	110	131
弾性係数	—	3.94×10^5	—

(注1) 3供試体の平均値

(注2) かさ上げコンクリートの打設は既設コンクリート打設後3か月目に行っている。付着後材令とはかさ上げコンクリート打設後の材令である。

(注3) 弾性係数は圧縮強度試験の最大応力の1/5における値である。

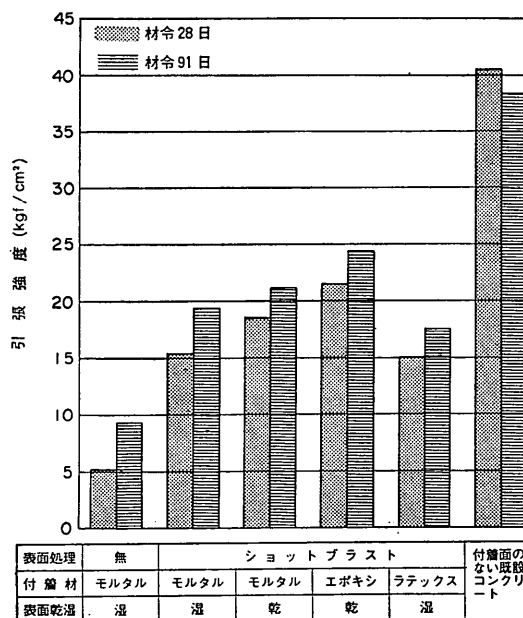


図-25 引張強度試験結果

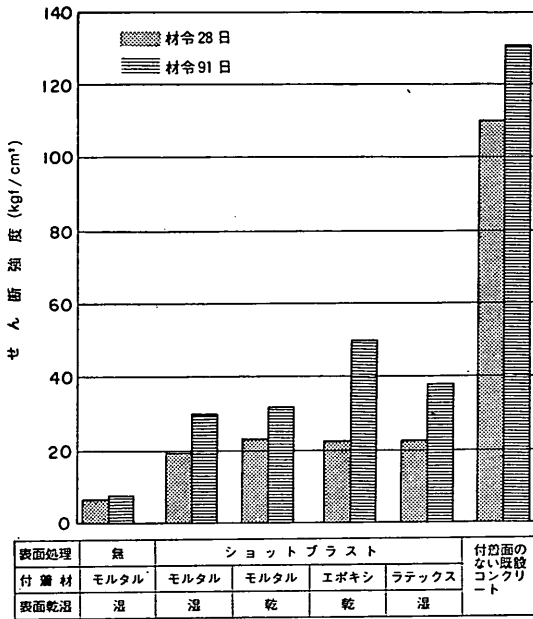


図-26 セン断強度試験結果

以下の検討では、付着特性に与える表面処理の効果、付着材の効果およびコンクリート劣化の影響について述べる。各条件下の試験結果を図-24(曲げ強度試験結果)、図-25(引張強度試験結果)、図-26(せん断強度試験結果)に示す(結果は3供試体の平均値)。また表-7に付

着面のない既設コンクリートの強度に対する比率を示す。以下この図、表に従い説明する。

4.1 表面処理の効果

表面処理の効果としてショットブラスト処理の有無による付着強度への影響について検討する。

付着材がモルタル、表面が湿潤の場合でショットブラストの有無について比較すると、各試験結果ともショットブラスト処理が行われている場合の方が無処理の場合より大きい強度を示している。無処理に対してショットブラストを行った場合は、曲げ強度で2.2~2.5倍、引張強度で2.1~3.0倍、せん断強度で3.0~3.9倍の強度改善が見られた。このことからショットブラストは、付着強度を確保する点で非常に有効な手段であることがわかる。

4.2 付着材の効果

付着材の効果を見るため、付着材がモルタルの場合、エポキシ樹脂の場合およびラテックスモルタルの場合について比較する。付着材の使用に当っては、表面処理としてショットブラストを行い、モルタルの場合には処理表面を乾燥状態で塗布した供試体と湿潤状態で塗布した供試体を作製し、エポキシ樹脂およびラテックスモルタルの場合には処理表面の乾湿をそれぞれの付着材に最適な状態にして塗布した。

エポキシ樹脂の付着強度を、乾燥面に付着材としてモルタルを塗布した場合の強度に対する比率(表-7, 材令91日)で見ると、曲げ強度で11%の低下、引張強度で16%、せん断強度で55%の増加となっている。せん断強度

表-7 付着面のない既設コンクリートの強度を100とした場合の強度比

付着施工条件			曲げ強度		引張強度		せん断強度	
表面処理	表面乾湿	付着材	材令28日	材令91日	材令28日	材令91日	材令28日	材令91日
無	湿	モルタル	26.6	26.5	12.8	24.2	5.9	6.0
ショットブラスト	湿	モルタル	58.9 (76.9)	66.9 (81.3)	37.9 (82.8)	50.5 (91.5)	17.6 (82.5)	23.1 (93.9)
	乾	モルタル	76.6 (100)	82.3 (100)	45.8 (100)	55.2 (100)	21.2 (100)	24.6 (100)
	乾	エポキシ樹脂	74.7 (97.5)	72.5 (89.3)	53.0 (115.7)	63.8 (115.6)	20.4 (96.2)	38.2 (155.3)
	湿	ラテックスモルタル	75.3 (98.3)	66.8 (81.2)	37.2 (83.0)	45.8 (83.0)	20.5 (96.7)	29.2 (118.7)
付着面のない既設コンクリート			100	100	100	100	100	100
付着面のないかさ上げコンクリート			92.1	97.5	—	—	—	—

(注) () 内は表面が乾燥状態でモルタルを塗布した場合の強度を100をとした比率

コンクリートかさ上げの付着特性

に対しては強度増加効果が認められるが、全体的に見るとモルタルと比較して、エポキシ樹脂の付着強度増加に対する効果はあまり期待できないものと考えられる。

同様にラテックスモルタルの場合は、せん断強度で若干の強度増加(19%)が見られるが、曲げ強度、引張強度では低下しており、付着強度増加の効果は認められなかった。

さらに、モルタルとエポキシ樹脂の付着特性についてより詳しく検討する。

まず付着材としてモルタルを使用した場合、既設コンクリートの処理表面の乾湿が付着強度に与える影響を見る。処理表面が乾燥状態にある方が各試験結果とも高い付着強度が得られており、乾燥状態での強度に対する比率で見ると(表-7, 材令91日)、湿潤状態の強度は曲げ強度で19%, 引張強度で8%, せん断強度で6%低くなっている。

付着強度の確保という観点から既設コンクリート版表面をかさ上げ施工直前に乾燥状態にしておくことについては、外国の施工報告^{10),11)}においても指適しているところである。この理由としては、既設コンクリート表面が乾燥状態にあることで、モルタル等の付着材が既設コンクリート版に浸透しやすくなり、これにより付着効果が上がるためではないかと考えられている。

この点について、国内の施工例で見ると、既設コンクリート表面はかさ上げ施工前に飽水状態にしておく場合が多く、既設コンクリート版の表面を乾燥させることによるモルタルの浸透効果については考慮されていなかったようである。今後の付着かさ上げの施工において付着材としてモルタルを使用する場合に注目すべき点と考えられる。

次に、付着材としてエポキシ樹脂を使用した場合、養

生条件および表面処理の有無が付着強度に与える影響を見る。

ここでの一連の試験の養生は、JISの規定に従い、コンクリート打設後24時間で脱型し、それ以降試験材令まで温度20°Cの水中で行っている。この条件で行ったエポキシ樹脂を付着材とした供試体の破断面を見ると、破断面には水の浸入と同時に、エポキシ樹脂のはく離現象が見られた。このため養生条件を変え、水の浸入がエポキシ樹脂の付着材としての特性に及ぼす影響を見ることにした。表-8はその試験結果を示したもので、乾燥養生は脱型後7日間温度20°C、湿度100%の室内に放置し、以後試験材令まで温度20°C、湿度80%の室内に放置して行った。試験結果を見ると、乾燥養生下の強度は、水中養生下の強度に対して、曲げ強度および引張強度ではほぼ同等であったものの、せん断強度では5 kgf/cm²程度の強度増加が認められた。両者のこの差は、せん断強度試験値のばらつきを考慮するとそれほど大きいものとは認めがたいが、水中養生における水分の浸透がエポキシ樹脂の付着効果にいくぶん影響を及ぼすことが考えられる。したがって、エポキシ樹脂を用いる場合には、施工時の養生条件の管理が重要になってくるものと考えられる。

次に、表面処理とエポキシ樹脂の付着効果との関係を見る(表-8)。ショットブラスト処理を行わずに、付着材にエポキシ樹脂を用いた場合の付着効果は著しく小さく、処理した場合に比べ1/2以下に低下している。これを付着面のない既設コンクリートの強度に対する比率で見ると、せん断強度で7~9%, 曲げ強度で35%, 引張強度で26%しかなく、この値は、ショットブラスト処理を行わないでモルタルを付着材として用いた付着供試体の強度の付着面のない既設コンクリートの強度に対する

表-8 エポキシ樹脂の付着強度

	シブ ヨラ ッス ト理	付 着 材	養 生	曲 げ 強 度 (kgf/cm ²)		引 張 強 度 (kgf/cm ²)		せん断強度 (kgf/cm ²)	
				材令28日	材令91日	材令28日	材令91日	材令28日	材令91日
				水中養生	有	エ	水	—	48.5 (77.7)
表面処理 のない場合	—	ポ	中	—	21.7 (34.8)	—	10.3 (25.8)	11.6 (8.7)	11.0 (16.6)
乾燥養生	有	キ	乾	—	48.9 (78.4)	—	24.2 (60.7)	41.8 (31.4)	39.0 (23.6)
付着面のない 既設コンクリート			水	62.1	62.4 (100)	34.3	39.9 (100)	133.2 (100)	165.6 (100)

(注) 3供試体の平均値、()内は既設コンクリートの強度を100とした比率

比率（表-7 参照）、せん断強度 6%、曲げ強度 27%、引張強度 24% とほぼ同等であった。このように、エポキシ樹脂の付着材としての効果は、ショットブラストによる表面処理の効果と相乗して発揮されていることになる。結局 4.1 で述べたように、付着かさ上げ舗装の施工においては、付着面のショットブラストによる処理が極めて重要なことを示している。

4.3 コンクリート劣化の影響

いままでの試験では既設コンクリートとして、打設後 3 か月間養生したものを使用している。したがって既設コンクリートの材令の若さが、かさ上げコンクリートとの付着強度に影響を与えていることが考えられる。このため、既設コンクリートとして打設後 10 年以上経過したものについて付着強度試験を行った。

この試験での既設コンクリートの供試体は、屋外の試験場で試験舗装用に打設されたコンクリート版から切り出して作製したもので、材令は 10 年以上経過している。試験としては、曲げ強度試験、引張強度試験およびせん断強度試験を実施しているが、引張強度試験については供試体作製が困難なため、直接引張強度試験で行うことにした。直接引張強度試験は、図-27 に示すように 15×10×53cm の既設コンクリートで作製した角柱供試体に、表面処理を行い、かさ上げコンクリートを 5cm 打継ぎ、試験時には、既設コンクリートに 1cm 深さまで達するコアボーリングを行い、アタッチメントをエポキシ樹脂で接着後、建研式引き抜き試験器で載荷する。

表-9 は劣化コンクリートの試験結果を示したものである。付着施工の条件は、ショットブラストによる表面処理を行い、また付着材としては表面を乾燥状態にした後

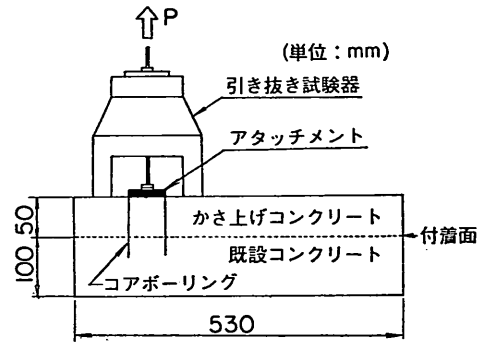


図-27 直接引張強度試験

モルタルを塗布した。強度試験結果を見ると、各試験結果とも劣化コンクリートの方が、材令 3 か月の既設コンクリートによる場合より付着強度が小さくなっており、曲げ強度では 64%、直接引張強度では 76~89%、せん断強度では 79~86% になっている。材令 3 か月の既設コンクリートと劣化コンクリート自体の強度比較を付着面のない一体的に作製した供試体の曲げ強度で行うと、劣化コンクリートの強度は、材令 3 か月の既設コンクリートの強度の 77% となっており、付着強度とはほぼ同程度の強度差が見られた。このことから、コンクリート自体の強度低下が付着強度の低下を招いているものと考えられる。

4.4 付着強度の特性

各試験結果を比較して言える大きな特徴は、既設コンクリートのみで一体的に作製した付着面のない供試体の強度を 100 とした場合の付着供試体の強度の比率（表-

表-9 劣化コンクリートの付着強度

目的	ショットブラスト処理	付着材	養生	曲げ強度 (kgf/cm ²)		引張強度 (kgf/cm ²)		直接引張強度 (kgf/cm ²)		せん断強度 (kgf/cm ²)	
				材令28日	材令91日	材令28日	材令91日	材令28日	材令91日	材令28日	材令91日
材令3か月のコンクリートの付着強度	有	モタル	水中	52.6	54.8 (100)	18.5	22.0	17.5 (100)	25.0 (100)	43.8 (100)	44.6 (100)
劣化コンクリートの付着強度	有	モタル	水中	—	35.0 (63.9)	—	—	15.5 (88.6)	19.1 (76.4)	37.8 (86.3)	34.7 (77.8)
付着面のない材令3か月のコンクリートの強度			水中	62.1	62.4 (100)	34.3	39.9	—	—	133.2	165.6
付着面のない劣化コンクリートの強度			水中	—	48.0 (76.9)	—	—	—	—	—	—

(注1) 3 供試体の平均値

(注2) () 内は材令 3 か月のコンクリートの付着強度を 100 とした比率、また < > 内は付着面のない材令 3 か月のコンクリートの強度を 100 とした比率

7)の中で、曲げ強度および引張強度に比較して、せん断強度の値が特に小さくなっていることである。例えば、付着強度が最も大きいエポキシ樹脂を付着材に使用した場合、付着面のない既設コンクリートの強度に対し曲げ強度で74~75%、引張強度で53~64%に達しているが、せん断強度は20~38%と非常に低い水準にとどまっている。こうした傾向は、付着条件が異なっている場合にも共通して認められるものである。このことは、コンクリート版間の付着では、曲げ強度と引張強度はある程度まで確保できるが、せん断強度を確保することは容易でなく、付着かさ上げ舗装においては、付着面にせん断力として作用する水平方向の外力には弱いことを示している。このことが、従来付着かさ上げ舗装の弱点として指摘されていたかさ上げコンクリート版のはく離現象あるいはひびわれ発生の一因になっていたものと考えられる。逆に、信頼性の高い付着工法の開発という観点から見れば、せん断強度の大きい付着工法の開発が重要になってくることを示している。

5. 新しい付着工法の開発

既設コンクリートとかさ上げコンクリートの付着における大きな特徴は、4.4で述べたように、付着面におけるせん断強度が、曲げ強度と引張強度に比較して低い水準にとどまることである。逆に言えば、付着工法の信頼性を高めるには、付着面におけるせん断強度が確保されるような工法を開発することが必要である。ここでは、以上の考え方に従って、付着面のせん断強度を増加させる工法の提案を行い、各工法の付着特性、特にせん断強度について試験した。提案した工法は、①既設コンクリート版とかさ上げコンクリート版をアンカーで補強する工法（アンカー工法）、②既設コンクリート版に空港舗装で使用されているグルーピング状の細い溝を切り、その上にかさ上げ舗装を打継ぐ工法（細溝切り工法）、③既設コンクリート版にかさ上げコンクリートに使用する粗骨材がかみ合う程度の溝を切る工法（太溝切り工法）である。以下では各工法の付着特性試験の結果を述べる。

5.1 アンカー工法

アンカーの施工は、あらかじめ既設コンクリートの所定の位置にコンクリートドリル（φ14.5mm）で穴を開け、アンカーボルトをエポキシ樹脂で固定した。アンカーには、M10すざりボルトを所定の長さに切って用いた。図-28はアンカーの施工位置、また写真-5は供試体にアンカーを取り付けたところを示したものである。

図-29はアンカーを取り付けた供試体のせん断強度の

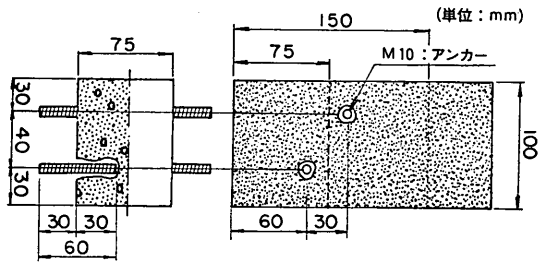
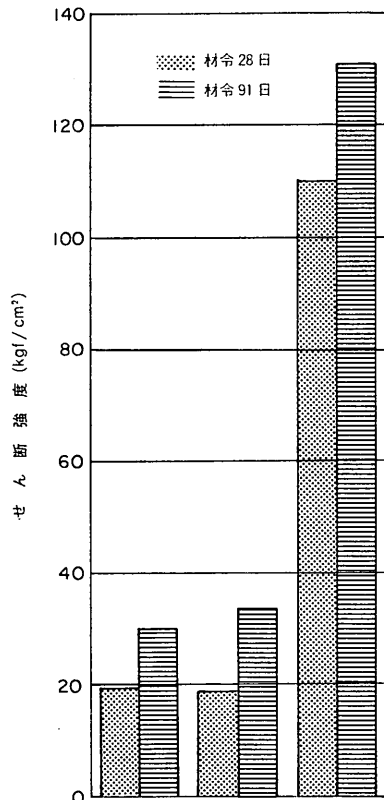


図 28 アンカーの施工位置



表面処理	ショットブラスト		付着面のない既設コンクリート
付着材	モルタル	モルタル	
表面乾湿	湿	湿	
アンカー	無	有	

図 29 アンカー工法のせん断強度

試験結果を示したものである。

この結果を見ると、アンカーを取り付けた供試体はモルタルのみを使用した場合と比較して、ほぼ同程度のせん断強度を示している。



写真-5 アンカーの施工状況

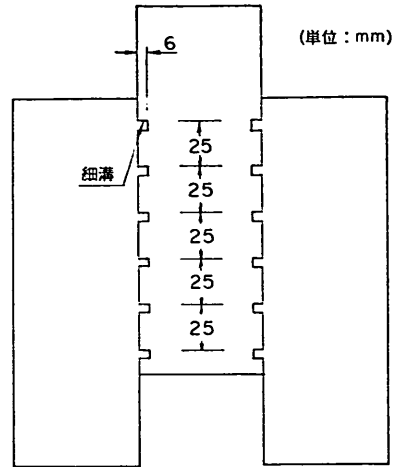


図-31 細溝切り工法

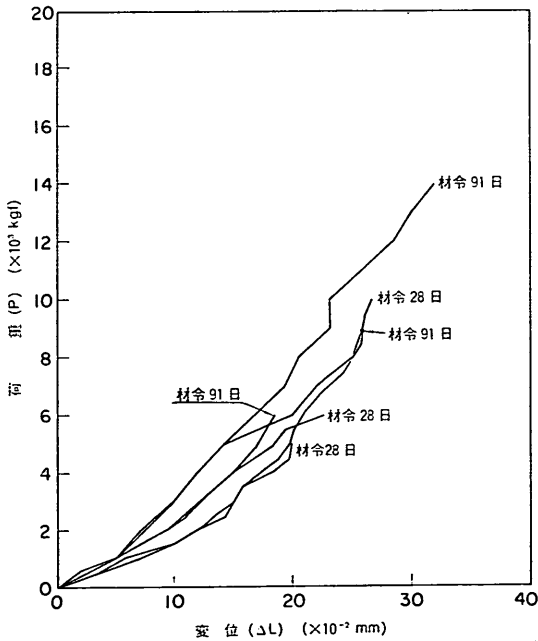


図-30 せん断強度試験の荷重・変位曲線
(アンカー工法)

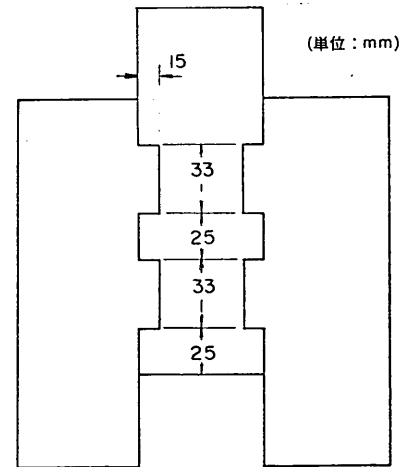


図-32 太溝切り工法

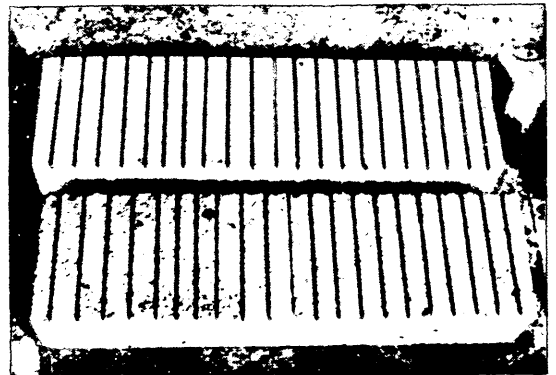


写真-6 細溝切り施工状況

せん断強度しか得られておらず、アンカーを取り付けたことによるせん断強度増加の効果は認められなかった。しかし、荷重・変位曲線(図-30)を見ると、例えば、エポキシ樹脂の場合(図-13)との比較では、破壊点の変位が小さくなっていることがわかる。結局アンカーの効果としては、強度に対する効果は期待できないが、変位を拘束する働きはあるようである。

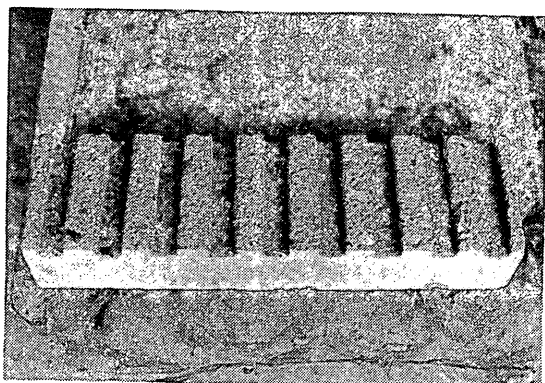
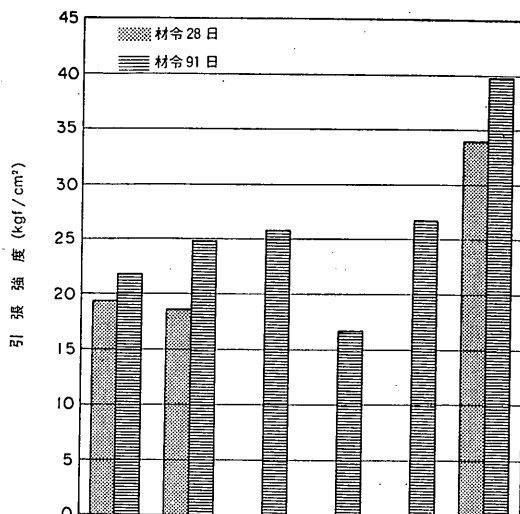
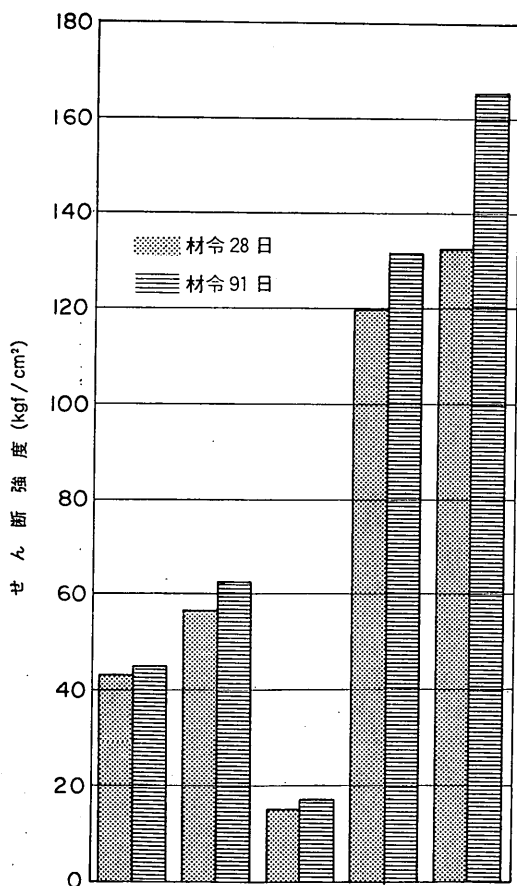


写真-7 太溝切り施工状況



表面処理	ショットブラスト			無	ショットブラスト	付着面のない既設コンクリート
付着材	モルタル	モルタル	モルタル	モルタル	モルタル	
工法	細溝切り工法			太溝切り工法		
試験法	引張強度試験			直接引張強度試験		引張強度試験

図-34 新付着工法の引張強度



表面処理	ショットブラスト		無	ショットブラスト	付着面のない既設コンクリート
付着材	モルタル	モルタル	モルタル	モルタル	
工法	細溝切り工法		太溝切り工法		

図-33 新付着工法のせん断強度

5.2 溝切り工法

細溝切り工法は図-31 および写真-6 に示すように幅 6 mm、深さ 6 mm の溝を 25mm 間隔に切った。また太溝切り工法は図-32 および写真-7 に示すように幅 33mm、深さ 15mm の溝を 25mm 間隔に切った。表面処理は細溝切り工法ではショットブラストを行う場合と行わない場合の両方を、太溝切り工法ではショットブラストを行った場合について供試体を作製した。付着材は各場合ともモルタルを使用している。さらに、せん断強度試験と同時に図-27 に示したものと同様な直接引張強度試験を実施している。

図-33 に各工法のせん断強度試験の結果を示す。また、図-34 に直接引張強度試験の結果を示す。

まず細溝切り工法について見ると、細溝切りを行わない場合に比べ 30~40% のせん断強度増加が見られ、またせん断強度の値も約 60kgf/cm² が得られており、明らかに、細溝切りによるせん断強度増加に対する効果が認められる。なお、直接引張強度については、細溝切りを行わない場合と同程度の強度が得られており、細溝切りによる引張強度への影響はないようである。

次にショットブラスト処理を行わずに、細溝切りだけで付着施工した場合の試験結果では、付着強度が大幅に低下した。ショットブラスト処理に比べ、せん断強度で約27%、直接引張強度で約65%の値しか得られなかった。このことは、細溝切りによる機械的なかみ合いだけでは大きい付着強度は得られず、細溝切りの効果を発揮させるためには、ショットブラストによる表面処理と組み合わせることが必要なことを示している。

第二の方法である太溝切り工法について見る。太溝切り工法のせん断強度は、既設コンクリートで一体的に作製した供試体のせん断強度の80~90%の値が得られ、また細溝切り工法に比較しても倍以上の強度が得られており、せん断強度増加に対して著しい効果があることがわかる。このように太溝切り工法の効果が大きいのは、太溝の幅が33mmあり、この溝の中に粗骨材およびモルタルが充てんされ、粗骨材による強度保持が考えられるため、試験後の破断面を観察すると、充てんされた粗骨

材がせん断面で割れているのが確認された。また、太溝切りを行った供試体の直接引張強度も、溝切りを行わない場合に比べ8%ほど増加が認められた。これは、太溝切りにより付着面積が増大したためと考えられる。結局、太溝切りによる付着強度の改善は、既設コンクリートとかさ上げコンクリートが機械的にかみ合うことにより得られたものであり、さらにショットブラスト処理面の面積増大による相乗的な効果により、打継ぎのない供試体に近いせん断強度が得られたものと考えられる。

最後に、細溝切り工法および太溝切り工法のせん断強度試験の応力・変形特性を見る。図-35は既設コンクリートと両工法の荷重・変位曲線を示したものである。両工法の荷重・変位曲線の傾きは既設コンクリートの傾きとほぼ等しく、両工法は付着面のない一体的に作成した供試体と同じような挙動を示すことがわかる。このことは、応力・変形特性の面からも両工法が大きいせん断強度を持っていることを裏付けていることになる。

ここで試みた新しい付着工法の中では、細溝切り工法および太溝切り工法がせん断強度増加に対し効果があり、特に太溝切り工法の効果が大きいことが明らかになった。またこれらの工法を採用するときには、同時に既設コンクリート表面にショットブラストを行うことが付着強度の確保にとって重要であることがわかった。

ただ、最適な溝幅、溝間隔等については、今後の施工実績等により検討していく必要のある課題である。

6. かさ上げコンクリートの乾燥収縮の検討

付着かさ上げ舗装は、既設コンクリート版上に薄いかさ上げコンクリート版を付着させることから、かさ上げコンクリートの乾燥収縮が拘束されることにより、かさ上げコンクリート版にひびわれが発生する場合がある。特に、新しい付着工法では付着強度が大きくなることから、かさ上げコンクリート版に対する拘束度が増すことになり、ひびわれ発生のおそれが増大するものと思われる。このため、拘束き裂試験によりコンクリートが大きい拘束力を受けた場合の乾燥収縮によるひびわれの発生状況等について検討した。

6.1 試験概要

(1) 試験の種類

かさ上げコンクリートの乾燥収縮特性を見るため次のような材料特性試験を行った。

a) 乾燥収縮試験

JIS A 1129「モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験」によるものとした。供試体は10×10×50cmで、打設後20°Cで湿潤状態に保ち、材令1日で脱型、20°C

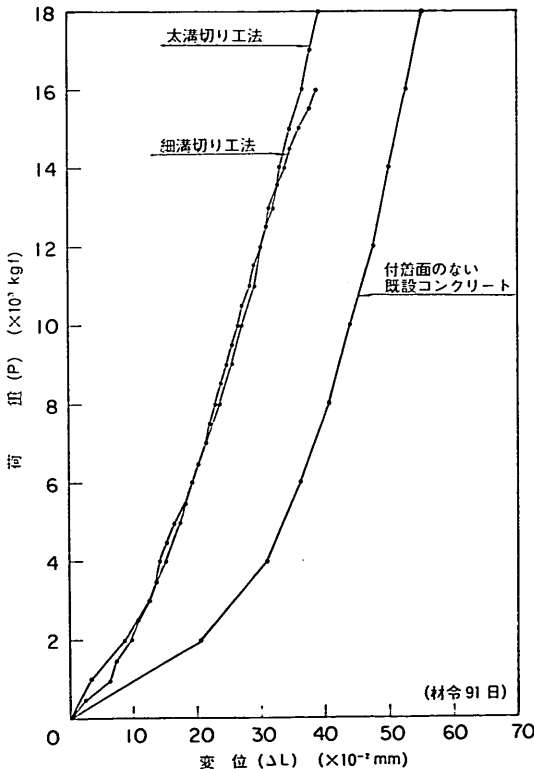


図-35 せん断強度試験の荷重・変位曲線
(新付着工法)



写真-8 乾燥収縮試験

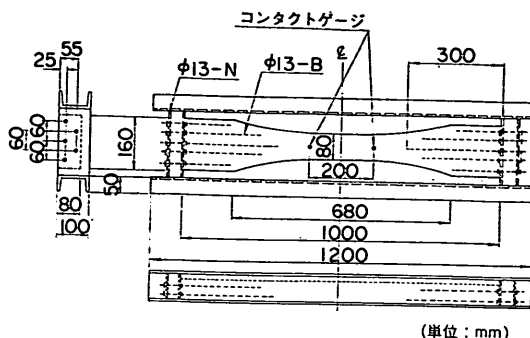


図-36 拘束き裂試験用供試体

の水中養生を行う。その後、材令7日で測定を行い、これを基長として、以後、温度20°C、湿度60%の恒温恒湿室に放置し、長さ変化を測定する。測定は、ダイヤルゲージ法によった(写真-8)。

b) 拘束き裂試験

拘束き裂試験は図-36に示すような、端部断面16×8 cm、中央部断面8×8 cmのくびれを有する長さ1 mのコンクリート柱の両端を、鋼製型枠にボルトで固定したものである。養生および測定条件は乾燥収縮試験と同一条件で行った。測定方法は、供試体中央部に標点距離20 cmのコンタクトゲージを取り付け、フリッシュテガーひずみ計で変位を測定した。また供試体に発生したひびわれを目視で観察し、ひびわれ発生までの乾燥日数を記録した。拘束き裂試験の型枠を写真-9に示す。

c) クリーブ試験

クリーブ試験は、10×10×40 cmの角柱供試体に、中心部にシース管を埋め込んだものを用いた。荷重は二重につなげた供試体内のシース管に通した鋼棒と加圧板により行った。荷重は鋼棒に取り付けたワイヤーストレインゲージで測定したひずみより求めた(写真-10)。またクリーブひずみはホイットモアひずみ計により測定した。

なお、これらの試験と同時に、コンクリートの強度試験(圧縮強度、曲げ強度、引張強度)を行っている。この試験での養生条件は、曲げ強度試験についてはJISの規定に従った水中養生を行い、圧縮強度試験については、水中養生の場合と乾燥収縮試験等で行う7日間の水中養生後乾燥養生させる場合の両方で行った。また引張強度試験については後者の養生条件で行っている。なお試験結果は3供試体の平均値で示している。

(2) コンクリートの配合および性状

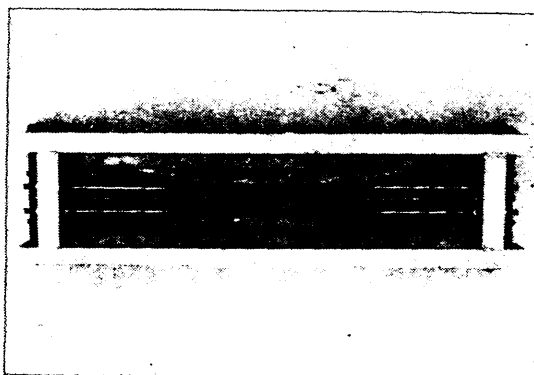


写真-9 拘束き裂試験用型枠

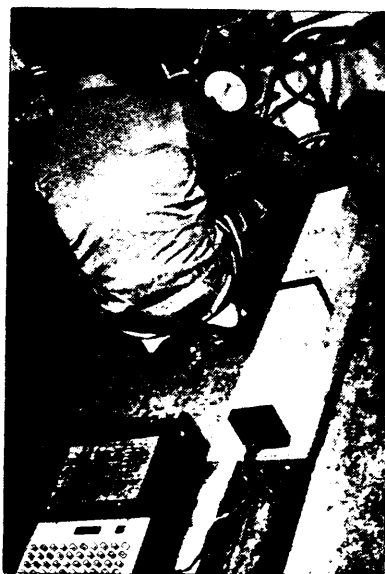


写真-10 クリーブ試験における荷重伝荷状況

表-10 コンクリートの配合およびフレッシュと硬化後の性状

	水セメント比 (%)	単位粗骨材容積	単 位 量 (kg/m ³)						流動化剤 (cc/C=100kg)	流動化前		流動化後		材 令 (日)	7	28	91
			C	膨張材	W	S	G	Ad		スランプ (cm)	空気量 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)				
普通コンクリート	47.7	0.67	300	—	143	849	1052	0.75	—	3.0 2.5	4.6 4.5	—	—	350 331 334 (338)	396 424 410 (410)	471 480 485 (479)	
膨張コンクリート	47.7	0.67	270	30	143	849	1052	0.75	1600	3.0 3.0	4.5 4.5	10.0 10.0	4.3 4.5	331 332 335 (333)	438 432 432 (434)	479 490 495 (488)	
															57.0 56.8 55.6 (56.5)	—	
															55.4 59.4 56.3 (57.0)	—	

(注) () 内は平均値

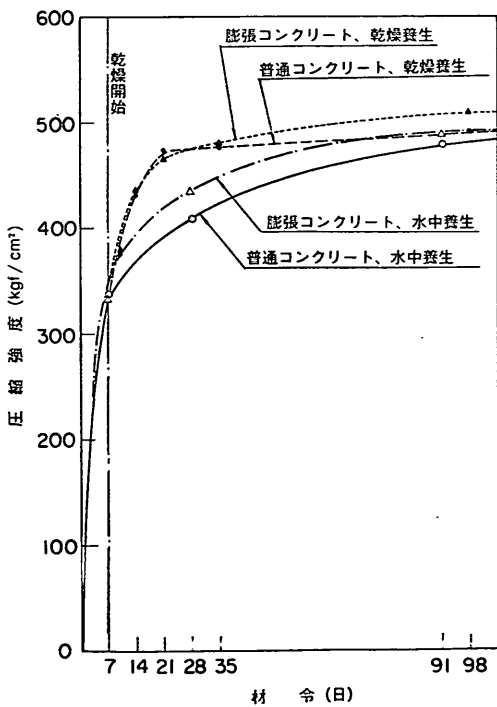


図-37 材令と圧縮強度の関係

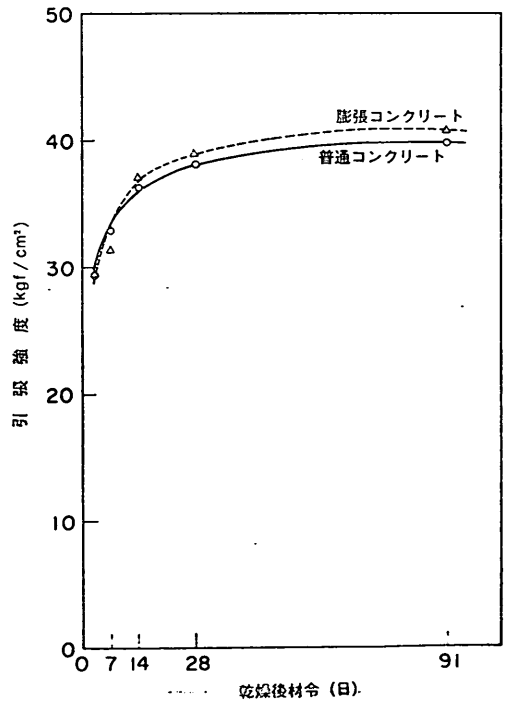


図-38 材令と引張強度の関係

a) フレッシュコンクリート

目標スランプ2.5cmで配合した普通コンクリートを基準として、流動化剤をスランプが10cmとなるように添加した。流動化剤の添加量については、付着特性試験のかさ上げコンクリートの性状で説明したとおりである。また、乾燥収縮の影響をできるだけ小さくする方法として膨張材の効果について検討した。膨張材の添加量は30kg/m³とし、等量のセメントを減じた内割りで用いた(表-10)。

b) 硬化コンクリート

- ・圧縮強度：打設後7日間の水養生を行い、その後乾燥室内に静置した場合の圧縮強度は、図-37に示すように乾燥状態に移行することにより、同一材令の水養生供試体より大きい圧縮強度を示している。これは湿潤状態から乾燥状態に移行することで、一時的に水和反応が促進されたことによるもので、材令が進むにしたがって強度増進がにぶり、水養生と比較して長期強度は低下することになる。
- ・引張強度：引張強度と材令の関係を図-38に示す。圧縮強度と同様に初期の強度増加が大きく、長期強度の伸びは小さい。なお、膨張材が混和されているコンクリートの方が圧縮強度、引張強度とも普通コンクリートより大きくなっている。

6.2 試験結果

(1) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験結果を図-39に示す。材令3か月までの長さ変化率(自由収縮ひずみ)を見ると、スランプ2.5cmの普通コンクリートで600μとなっているが、膨張コ

ンクリートでは550μと50μ小さくなっており、膨張材による収縮ひずみの低減効果が認められる。なお、図-40は流動化材の影響を見るために、0スランプ状態を基準にして流動化剤でスランプ5cmと10cmまで流動化した場合の乾燥収縮試験結果である。これを見ると流動化による影響は認められず、スランプ2.5cmの普通コンクリートの収縮ひずみが最も大きく、次いで、単位水量を減じて0スランプ状態をもとにした流動化コンクリートが続き、これに膨張材を加えたコンクリートが最も小さい収縮ひずみを示している。結局、収縮ひずみの減少量は、単位水量の減少と膨張材に左右され、流動化の程度には影響されないことがわかる。ただ、単位水量を減少させると、流動化幅が大きくなるため、流動化剤の添加量が増え、コンクリートの粘性が高まる。このため、0スランプ状態で流動化したコンクリートの施工性は良くなかった。

(2) 拘束き裂試験

拘束き裂試験結果を図-41に示す。これを見ると、スランプ2.5cmの普通コンクリートと、膨張コンクリートとの間に拘束ひずみの材令による差は認められない。しかし、ひびわれの発生について見ると、普通コンクリートでは、材令100日前後で発生しているが、膨張コンクリートでは発生していない。一般に膨張材の効果としては、乾燥収縮ひずみ量の低減効果とコンクリートが拘束されている場合のケミカルプレストレス効果が考えられる。図-41の結果を見ると膨張コンクリートの収縮ひずみ量は、普通コンクリートと同程度発生しており、ひずみ量の低減効果は表れていないことから、プレストレスの効果によりひびわれが発生しなかったものと考えられ

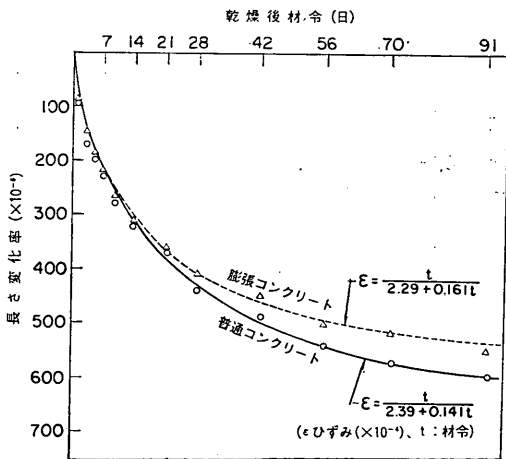


図-39 乾燥収縮試験結果

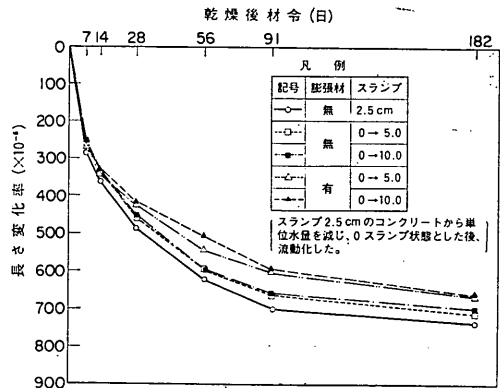


図-40 乾燥収縮に対する流動化の影響

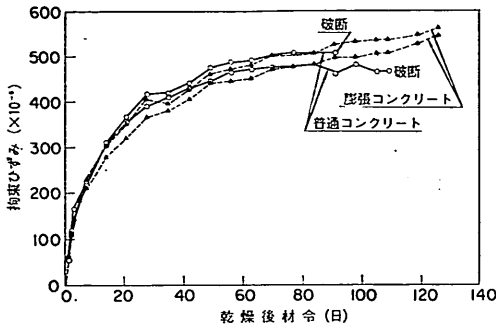


図-41 拘束き裂試験結果

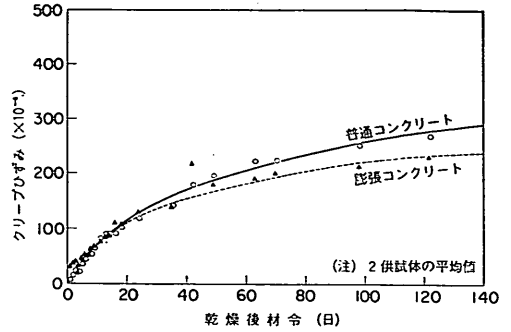


図-43 クリープ試験結果

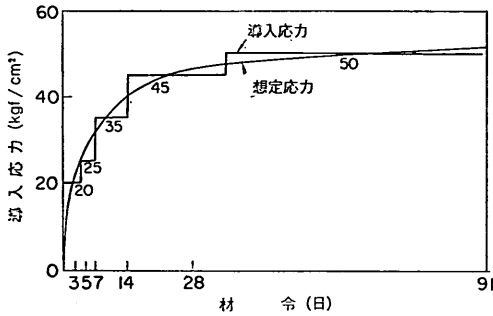


図-42 クリープ試験における導入応力

る。なお、ひびわれが発生した時点の普通コンクリートの拘束ひずみは465～505 μ であり、これに対し、ほぼ同時期(材令3か月)の乾燥収縮ひずみ(自由収縮ひずみ)は600 μ であったことから、この両者の100～130 μ のひずみ差により供試体内部に引張応力が発生し、ひびわれが生じたものと考えられる。

(3) クリープ試験

クリープ試験における導入応力は、乾燥収縮を拘束することで発生する応力の変化に近いものとなるように想定した。拘束き裂試験でひびわれが発生した材令100日前後でコンクリートの内部応力は、先に示したコンクリートの引張強度(約40kgf/cm²)に達したものと考えられる。

したがって導入応力は、データのばらつきも考え、材令91日で内部応力が50kgf/cm²に達しているものとして、図-42に示す想定応力を設定し、これを段階的な応力で近似することとした。なお、クリープひずみはクリープ試験体と同一のシース管を埋め込んだ試験体で測定した乾燥収縮ひずみで補正して求めた。

図-43にクリープ試験結果を示す。膨張コンクリート

のクリープひずみは、膨張材を用いていない普通コンクリートに比べ小さい傾向にあり、材令が進行するに従いこの傾向は大きくなっている。こうした傾向は膨張コンクリートの一般的性質として認められているものである。

6.3 乾燥収縮応力の検討

(1) 乾燥収縮応力の解析方法

コンクリートの乾燥収縮が拘束されることにより生じる引張応力を、Nevilleの方法¹²⁾によって算定した。乾燥収縮による応力解析は、乾燥収縮ひずみの増加にともななって生じる応力増分に対してクリープが関与するため、応力変化が未知であるときの漸増応力条件下のクリープ解析を行う必要がある。したがって、適当な時間間隔 Δt で段階的に応力が増加するものとして逐次的に数値積分する方法がとられる。

拘束き裂試験の乾燥収縮による応力解析には次式が適用される¹³⁾。

$$\sum_{j=1}^i \Delta \epsilon_j - \sum_{j=1}^i \frac{\Delta P_j}{E_j A_c} (1 + \phi(t_i, \tau_j)) = \sum_{j=1}^i \frac{\Delta P_j}{E_s A_s} \quad (1)$$

$\Delta \epsilon_j$: Δt_j 間の乾燥収縮の増加分

ΔP_j : Δt_j 間のコンクリートに生じる引張力増加分

$\phi(t_i, \tau_j)$: 時間 τ_j に載荷されたコンクリートの時間 t_i におけるクリープ係数

E_j : 時間 t_j におけるコンクリートの弾性係数

A_c : コンクリート試験体の断面積

A_s, E_s : 拘束鋼材の断面積および弾性係数

(2) 解析結果

普通コンクリートおよび膨張コンクリートの拘束き裂試験時の内部応力の解析結果を示す。解析条件は以下の

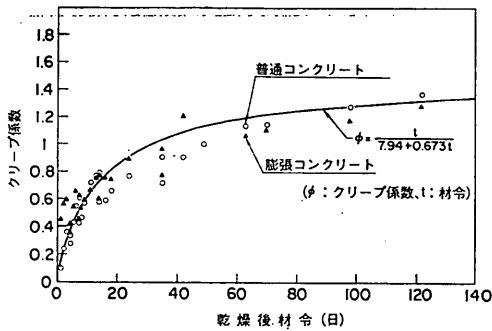


図-44 材令とクリープ係数の関係

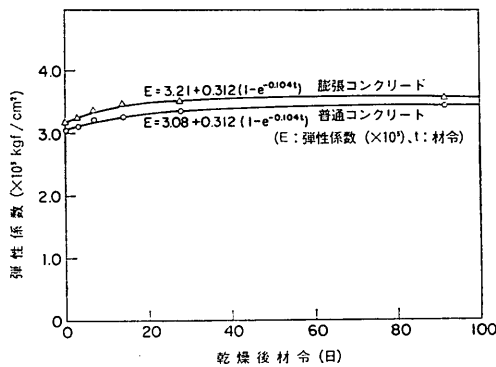


図-45 材令と弾性係数の関係

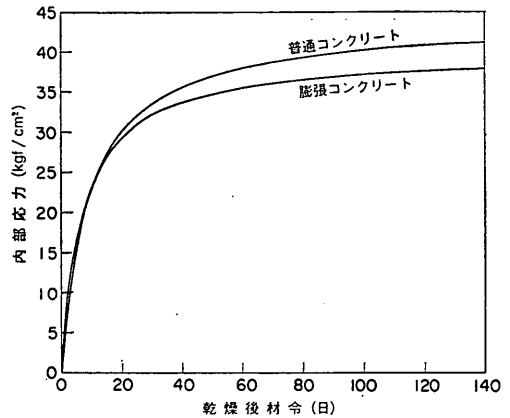


図-46 拘束き裂試験における乾燥収縮による内部応力

・弾性係数 (単位: kgf/cm², 図-45)

$$E_t = \{3.08 + 0.312(1 - e^{-0.104t_j})\} \times 10^5 \quad (6)$$

(普通コンクリート)

$$E_t = \{3.21 + 0.312(1 - e^{-0.104t_j})\} \times 10^5 \quad (7)$$

(膨張コンクリート)

なお、(1)式はコンクリート試験体と拘束材が完全に固定されているものとして求められたものである。しかし、ここで使用した拘束き裂試験法の固定度は低い¹³⁾ため、(1)式を適用するにあたり、普通コンクリートの拘束き裂試験のひびわれ発生時の引張強度で補正した。計算結果を図-46に示す。普通コンクリートの拘束き裂試験でひびわれが発生した材令100日前後の膨張コンクリートの内部応力は、普通コンクリートに比べ、約3 kgf/cm²低くなっている。この値は、先に見たように両者の乾燥収縮ひずみ差が小さかったことを反映して、大きいものではなく、この程度の応力差により膨張コンクリートにひびわれが発生しなかったとは考えられない。したがって先に述べたように、ひびわれが発生しなかった原因としては、膨張コンクリートのケミカルプレストレスによるものと考えられる。角柱供試体の両端を鋼棒で拘束して、膨張コンクリートのケミカルプレストレスを測定した実験例¹⁴⁾では、拘束鉄筋比(角柱供試体と鋼棒の断面積の比)が約2%、膨張材の混入量13%で、材令100日前後のケミカルプレストは25 kgf/cm²に達することが報告されている。したがって、今回の実験では、膨張コンクリートの効果として、収縮ひずみの減少による内部応力の低下効果よりも、ケミカルプレストレスによる効果の方が大きかったものと考えられる。

とおりである。

・乾燥収縮ひずみ (図-39)

$$\epsilon_j = \frac{t_j}{2.39 + 0.141t_j} \times 10^{-4} \text{ (普通コンクリート)} \quad (2)$$

$$\epsilon_j = \frac{t_j}{2.29 + 0.161t_j} \times 10^{-4} \text{ (膨張コンクリート)} \quad (3)$$

・クリープ係数 (図-44)

$$\phi_d = \frac{t_j}{7.94 + 0.673t_j} \quad (4)$$

普通コンクリートと膨張コンクリートでは大きい差がないため同一の式で解析した。また載荷材令 τ_t のクリープに及ぼす影響曲線 $k(\tau_t)$ は、次式を用いた^{12), 13)}。

$$k(\tau_t) = \frac{7.65}{5 + \sqrt{\tau_t}} \quad (5)$$

7. 結 論

付着かさ上げ舗装で最も重要な要素である付着特性について各種の試験を行い、その特性を明らかにするとともに、付着強度を確保するために新しい工法の提案を行った。また、かさ上げコンクリートのひびわれ発生の恐れを低減させるため、かさ上げコンクリートの材料特性についても検討した。主要な結論を以下に示す。

- (1) 付着強度を評価するせん断強度試験法は、供試体作製の容易性等から考案したものであるが、応力解析の結果では、付着面に沿ってほぼせん断破壊に近い状態が得られることを示しており、ここで採用した試験法は、付着面のせん断強度を評価する方法として妥当なものと考えられる。
- (2) 既設コンクリート版とかさ上げコンクリート版の付着を高めるには、ショットブラストの効果が顕著であった。また、ショットブラストの効果は付着材の種類に関係なく有効であった。
- (3) 付着材としてモルタル、エポキシ樹脂、ラテックスモルタルを用いて比較試験を行ったが、3者の間に特に大きな効果の差は認められなかった。また、付着材としてモルタルを使用する場合、既設コンクリートの表層を乾燥状態に保っておく方が、付着強度が高まることが明らかになった。
- (4) 既設コンクリート版の強度と付着強度の関係について見ると、既設コンクリート版自体の強度低下とほぼ同程度の付着強度の低下が認められた。
- (5) 付着特性を曲げ強度、引張強度およびせん断強度で評価した。この3強度を比較すると、一般的な付着工法では、せん断強度が曲げ強度および引張強度に対して低い水準にとどまり、付着面に平行に作用するせん断力に対する耐力が小さいことが明らかになった。
- (6) 新しい付着工法である溝切り工法は、付着強度の増加に対して、大きい効果があることがわかった。特に、太溝切り工法の効果が顕著で、一体的に作製した付着面のない供試体の強度に近い強度が得られ、信頼性の高い付着工法であることがわかった。
- (7) かさ上げコンクリート版の乾燥収縮によるひびわれ発生の恐れは、膨張コンクリートの使用により低減することがわかった。これは、膨張コンクリートのケミカルプレストレスの効果が大きいことによるものと考えられる。

8. あとがき

コンクリートの付着かさ上げ舗装の実施において最も重

要な課題である付着強度およびかさ上げコンクリートの乾燥収縮について、その特性を検討するとともに、付着強度を確保するため新しい付着工法の提案を行った。

ここで提案した付着工法を適用してコンクリートの付着かさ上げ舗装を実施していくには、施工上の問題等も含め、まだ残された課題があり、今後とも試験舗装等による研究を積み重ねていく必要がある。しかし、従来付着かさ上げ舗装の実施例は少なく、付着特性に関する知見は少なかったが、今回の研究により付着かさ上げ舗装の実施においていくつかの指針が得られたものと考えられる。

航空需要の増大と空港整備の進展にともない、今後増々空港舗装の維持補修の重要性は大きくなっていくものと予想される。こうした状況下で、コンクリートによるかさ上げ舗装の中で最も経済的な工法である付着かさ上げ舗装が実用化されることは時宜にかなったものであろう。今後、試験舗装も含めコンクリートの付着かさ上げ舗装の施工例が積み重ねられ、設計・施工の基準作成に進むことを期待したい。

(1985年3月30日受付)

謝 辞

本研究の実施に当たり、日曹マスタービルダーズ株式会社中央研究所の児玉和己所長、御所窪邦男次長には有益な御教示をいただいた。また、八洋コンクリートコンサルタント株式会社技術センターの浅野研一氏には終始熱意を持って実験に取り組んでいただいた。各位に対し心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 平井磨磋夫編著：空港、新体系土木工学69，土木学会編，1984年。
- 2) 赤塚雄三：嵩上げ舗装の設計方法に関する調査研究，港湾技研資料 No. 51，1968年，pp. 4～6。
- 3) Portland Cement Association：Guide to Concrete Resurfacing Design and Selection Criteria，1981。
- 4) Roy W. Gillette：Performance of Bonded Concrete Overlays，JOURNAL OF AMERICAN CONCRETE INSTITUTE，1963。
- 5) たとえば，橋本 節治他：橋面舗装に用いた薄層鋼繊維補強コンクリートの付着強度，舗装19—5，1984年。
- 6) 高瀬博行・福手 勤：付着かさ上げによる空港コンクリート舗装の補修，土木学会，第38回年次学術講演会講演概要集，昭和58年，第5部，pp. 485～486。

コンクリートかさ上げの付着特性

- 7) 運輸省第二港湾建設局, 東京空港工事事務所: 東京
空港ターミナル地区エプロン改良工事, 第18回空港
土木工事報告会資料, 昭和58年.
- 8) 岡田 清・六車 熙: コンクリート工学ハンドブック,
朝倉書店, 1981年, pp. 403~407.
- 9) 東 洋一・大久保全陸・磯 健一: コンクリートの
せん断強度試験法に関する研究, 日本建築学会大会
学術講演概要集, 1978年, pp. 183.
- 10) Jerry V. Bergren: Bonded Portland Cement
Concrete Resurfacing, TRR-814, 1981. pp. 68.
- 11) W.H. Temple・M. Rasoulian: Thin Bonded PCC
Resurfacing Interim Report No. 1. F.H.A., 1982.
pp. 10.
- 12) A.M. Neville: Creep of Concrete, North-Holland.
1970, pp. 448~467.
- 13) 鈴木計夫・大野義照・中川隆夫・太田 寛: コンク
リートの収縮拘束ひびわれ試験, 第三回コンクリ
ート工学年次講演会論文集, 1981年, pp. 25~28.
- 14) 岡田 清・平沢征夫・陳 哲光: 膨張セメントコン
クリートのセルフプレストレスおよびクリープに関
する実験, コンクリート・ライブラリー 第39号,
pp. 43~49.