

---

---

無収縮モルタルによる円錐形ソケットのケーブル定着法の開発

(研究課題番号 09650532)

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))

研究成果報告書

---

---

平成11年3月

研究代表者 今井 富士夫

(宮崎大学工学部・教授)

## 平成9～10年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））

### 研究成果報告書

本報告書は、平成9年度から平成10年度の2年間にわたって文部省科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））の補助を受けて実施された研究成果ならびに関連する基礎的研究についてとりまとめたものである。

ケーブル定着に円錐形ソケットを使用する場合、一般にケーブルをソケット内部で百本以上にもおよぶ素線に個々分解し、ソケット内部の固定用グラウト材（中詰め材）には亜鉛銅合金が使用されてきた。亜鉛銅合金はソケット注入時の温度管理が難しいことから、その注入には熟練工によるものとなるために、簡便性に欠け、コスト高ともなる難点があった。

本研究では、ソケット中詰め材を従来の亜鉛銅合金に替え、取り扱いが簡便で安価な無収縮モルタルの適用を検討するとともに、ソケット内部のケーブルの分解状態も素線分解だけでなく、ケーブル分解による手間を省くストランド単位に分解したものやケーブルをまったく分解しないケーブル本体そのものについての定着性能についても検討した。

これらの実験過程で、ソケット内部でのケーブルの状態をストランド分解や分解していないケーブル本体そのものとした場合には、中詰めモルタルの強度不足が問題となったため、無収縮モルタルの高強度化についての材料試験も行った。中詰め材としてのモルタルには、ポンプ圧入に必要な流動性と強度が要求されるので、流動性には超高性能減水剤を、高強度化にはシリカフュームを添加し、流動性と強度の両面からみた適切な配合と弾性係数などの材料特性について検討した。

#### 1. 研究課題

##### 無収縮モルタルによる円錐形ソケットのケーブル定着法の開発

（研究課題番号 09650532）

#### 2. 研究組織

研究代表者	今井 富士夫	宮崎大学工学部土木環境工学科
研究分担者	中澤 隆雄	宮崎大学工学部土木環境工学科

#### 3. 研究経費

平成9年度	1,400	千円
平成10年度	1,000	千円
合計	2,400	千円

#### 4. 研究発表

##### 1. 学会誌等

- (1) 今井富士夫、松本公秀、大神龍馬、中澤隆雄：無収縮モルタルによるケーブル定着に関する基礎的実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18、No. 2、pp. 533-538、1996
- (2) 今井富士夫、白石哲、赤木正見、中澤隆雄：高強度モルタルを注入したソケットに注入されたケーブルの引き抜き抵抗、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18、No. 2、pp. 193-198、1996

##### 2. 口頭発表

- (1) 白石哲、今井富士夫、赤木正見：円錐形ソケットの高強度モルタル中詰め材によるケーブル定着能、土木学会第 52 回年次学術講演概要集 V、pp. 338-339、1997
- (2) 白石哲、今井富士夫、堤博、赤木正見：シリカフェームによる高強度モルタルの配合と材料特性、土木学会西部支部研究発表講演概要集、No. 2、pp. 810-811、1998
- (3) 白石哲、今井富士夫、赤木正見、中澤隆雄：円錐形ソケット内部でのケーブル定着法と引き抜き抵抗、土木学会第 53 回年次学術講演概要集 V、pp. 986-987、1998

#### 5. 研究成果

本研究で得られた成果は前節の研究発表で既に公表済みであるが、これらの主要な部分を抜粋して整理する。なお、研究発表に記載したものを付録として添付する。

平成 11 年 3 月

研究代表者

今井 富士夫 (宮崎大学工学部土木環境工学科)

# 目 次

第1章 序 論	.....	1
第2章 流動性を有する高強度モルタルの開発	.....	2
2. 1 序	.....	2
2. 2 配合と練り混ぜ	.....	2
2. 3 流動試験	.....	4
2. 4 材料試験	.....	7
2.4.1 圧縮試験	.....	7
2.4.2 応力-ひずみ関係	.....	10
2.4.3 材料特性	.....	12
2. 5 結語	.....	16
第3章 ケーブル定着法の開発	.....	17
3. 1 序	.....	17
3. 2 実験概要	.....	18
3. 3 ソケット内部のケーブルの状況	.....	20
3. 4 供試体	.....	25
3. 5 緊張過程における引き抜け挙動とソケット内圧	.....	28
3.5.1 引き抜け挙動	.....	28
3.5.2 ソケット内圧	.....	30
3. 6 一定載荷試験	.....	32
3. 7 結語	.....	34
第4章 結 論	.....	35
参考論文	.....	36

## 第1章 序 論

円錐形ソケットによるケーブル定着法はケーブルエレクション工法<sup>1)</sup>で採用されている。この定着法では、ソケットに挿入されたケーブルを百数十本にもおよぶ素線を個々に分解し、ソケット内部に広がった素線とソケットとの空間には亜鉛銅合金をグラウト材(中詰め材)として注入する方法<sup>2)</sup>が一般的なものとなっていた。しかしながら、亜鉛銅合金のソケット注入は温度管理が難しいために専門の技術者に頼るものとなるため、熟練工が常駐していない現場では定着時期を予め設定して、技術者を呼び寄せるなど、簡便性に欠けるとともにコスト高となるものであった。

一方、P C構造物の建設では、P C鋼材の定着にモルタルによるグラウトが採用されており、最近では現場配合が不要な既配合無収縮モルタルが市販されており<sup>3)</sup>、このモルタルは工場配合されているので、信頼性は高く、練り混ぜも簡便でしかも安価であるという利点を有している。

本研究は円錐形ソケットによるケーブルの簡便な定着法の開発を目的としたもので、簡便性に欠ける亜鉛銅合金に替わるソケット中詰め材として、上述したような安価で使用性が豊かな無収縮モルタルの適用を検討した。本研究ではまず、無収縮モルタルは販売時に配合が施されているものを採用し、ソケット内部のケーブルは亜鉛銅合金の場合と同様に、すべての素線に分解して素線分解すれば、ケーブル破断までほとんど引き抜けもみられずに十分に定着できることを明らかにした。次いで、ケーブル分解の手間を省く目的で、ケーブルを数本のストランド単位に分解した場合について無収縮モルタルを使用した。この場合には引き抜けも大きく、定着も不十分なものとなった。試験後に中詰め材であるモルタルを観察すると、緊張直角方向にひび割れが多数生じていた。この結果はケーブルを分解せずに挿入した場合にも同様であった<sup>5)</sup>。

そこで、無収縮モルタルの高強度化を図ることにした。中詰め材としてモルタルはソケットにポンプ圧入するために、高強度化に加えて流動性も要求される。ここではモルタルの高強度化にはシリカフェームを、流動性の確保には高性能減水材を適用したが、このようなモルタルの配合に関するもの<sup>6)</sup>は一部見受けられるが、いまだ十分でないために、ここではソケット中詰め材として流動性を有する高強度モルタルの配合試験を実施し、中詰め材としての最適な配合を見いだすとともに、圧縮強度や弾性係数などの材料特性などを明示した<sup>7)~9)</sup>。ここで得られた高強度モルタルを使用して、ストランド分解した場合や分解しないケーブルの緊張試験を行い、ストランド分解した場合でもストランドの端部を粗く分解すれば十分に定着できること、あるいは分解しない場合でも簡単なジグを取り付ければ、ケーブル破断までは定着できないが、使用荷重の2倍の緊張力までは十分に耐えることが明らかにした<sup>10)~11)</sup>。

## 第2章 流動性を有する高強度モルタルの開発

### 2.1 序

ソケット内部のケーブルを百数十本のすべての素線に分解してソケット内部にほぼ一様に配置した場合には、中詰め材として市販されている無収縮モルタルを適用してもケーブルはその破断まで十分に定着することができるが、ストランド単位に粗く分解した場合には通常の無収縮モルタルではひび割れ、付着切れなどの強度不足により、十分な中詰め材としての機能を維持できなかった。そこで、本章では無収縮モルタルの高強度化に関する検討を行う。

ここでのモルタルは強度に加えて、ソケットにポンプ圧入されるので流動性も要求される。ベースとなるモルタルには既に配合して市販されている無収縮モルタルを使用し、この高強度化にはシリカフュームを、流動性の確保には高性能減水剤を適用した。このようなモルタルの配合は現在のところ明確でないため、本章ではまず、ポンプ圧入に必要な流動性を確保するための配合について検討し、次いで、高強度モルタルの配合試験ならびに圧縮強度、弾性係数、ポアソン比などの材料試験を実施した。これらの高強度モルタルの配合や材料特性の試験では、まず標準養生である水中養生した場合について検討したが、実際にはソケットにポンプ圧入した後は密閉されたままで放置されるであろうと思われるので、ビニール袋に密閉された状態で放置したもの（便宜的に気中養生を称することにする）についての検討も行っている。

### 2.2 配合と練り混ぜ

本試験では、セメント、砂ならびに無収縮混和剤材（ユーロックス）が既に混合されて小野田セメントから市販されているプレユーロックス（無収縮モルタル）を使用し、流動性の確保には竹本油脂の超高強度コンクリート用高性能減水剤・チュポール SSP-104を採用した。また、高強度化で使用したシリカフュームの品質規格は、以下のようになる。

表-2.1 シリカフュームの品質規格

SiO <sub>2</sub>	92.0%	Na <sub>2</sub> O	2.5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5%	K <sub>2</sub> O	3.0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5%	C	2.5%
CaO	2.0%	S	0.2%
MgO	3.0%	L. O. I.	3.5%
比表面積	18~20 m <sup>2</sup> /g	比重	2.2%
平均粒径	0.1~0.2kg/m <sup>3</sup>	45 μm通過率	95~100%
形状	球体アモルファス		

本試験で使用したプレューロックスは無収縮材（ユーロックス）とセメント・砂が始めから配合されたものであり、ユーロックスとセメントの比は企業秘密となっているが、（ユーロックス+セメント）と砂の比は1：1と明らかになっている。配合の基本となる結合材をここでは（セメント+ユーロックス+シリカフューム）と規定して、各種構成材料との比を決定した。また、高性能減水剤中の70%は水分なので、この水分量も水結合材比の算定では考慮した。

表-2.2 は今回の試験で採用された配合表である。ここで、Wは混入する水の量を表したもので、高性能減水剤の水分は除したものとなっている。よって、表から読みとられる水結合材比は統一されていないように見受けられるが、高性能減水剤の水分を付加すれば、すべて30%に統一されている。無収縮モルタルのみを使用する場合には水結合材比は35%である。

表から明らかなように、結合材に対する高性能減水剤の比は3%~7%と変化させ、シリカフュームは0%~20%と変化させた。

表-2.2 配合表

No.	SP (%)	SF (%)	SP (kg/m <sup>3</sup> )	SF (kg/m <sup>3</sup> )	PR (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	水結合材比(%)
SP 300	3	0	26.7	0	1776	248	27.9
SP 305		5	27.9	47		261	
SP 310		10	29.7	99		275	
SP 315		15	31.2	157		292	
SP 320		20	33.3	222		310	
SP 500	5	0	44.4	0	1776	235	26.5
SP 505		5	46.8	47		248	
SP 510		10	49.2	99		262	
SP 515		15	52.2	157		277	
SP 520		20	55.2	222		294	
SP 700	7	0	62.1	0	1776	223	25.1
SP 705		5	65.4	47		235	
SP 710		10	69.0	99		248	
SP 715		15	73.2	157		262	
SP 720		20	77.7	222		279	

※SP：減水剤，SF：シリカフューム，PR：プレューロックス，W：水  
これ以降、各配合をナンバーで呼ぶことにする。

モルタルの練り混ぜ方法は流動性に大きな影響を及ぼす。なぜならば、高性能減水剤が界面活性剤の役割をするために、練り混ぜ期間での減水剤の混合のあり方が重要なものとなる。本試験では、図-2.1に示すような2つのパターンについて行った。

当初は（a）の方法で、以下の様な手順である。

- (1)プレューロックスとシリカフュームを30秒間、空練りする。
- (2)予め軽量された減水剤を水で2倍に希釈し、残った水を空練りしたなかに混ぜ、30

秒間、ハンドミキサーにて練り混ぜる。

(3)ここで、希釈された高性能減水剤の 1/2 を入れ、再度 60 秒間練り混ぜる。

(4)残った高性能減水剤を入れ、90 秒練り混ぜる。

この行程での練り混ぜ時間は 3 分間となる。

(b) の方法では、(1)と(2)は (a) と同様であるが、(3)で練り混ぜ時間を 30 秒多い、90 秒間とし、最後の希釈水混入時に 20 秒間寝かせ、(4)では 60 秒間の練り混ぜとした。この方法でも練り混ぜ時間は 3 分間となっている。

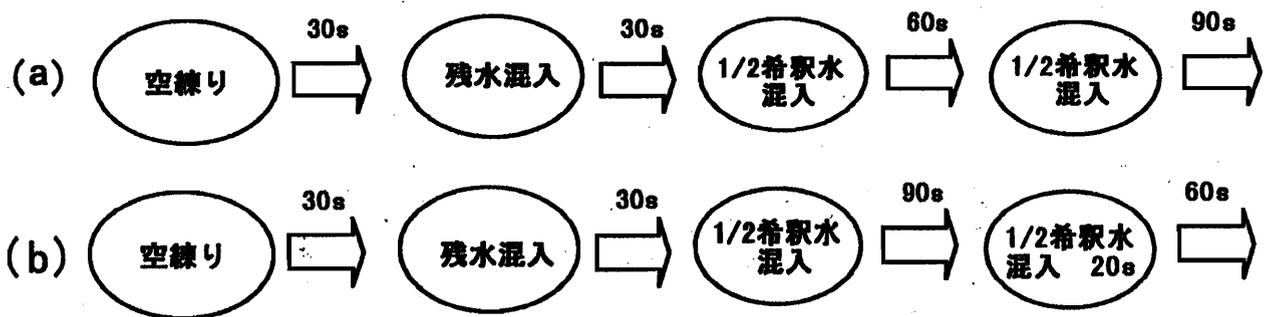


図-2.1 練り混ぜ方法

### 2.3 流動試験

流動試験は、市販されているプレューロックスの試験で採用されている図-2.2 と写真-2.1 に示すような J14 ロートを用いて、ロートに充填されたモルタルの落下時間を計測するものである。通常のプレューロックスの流下時間はおよそ  $8 \pm 2$  秒となっており、これを標準として、今回の配合の検討を行った。流動試験は、1 回の練り混ぜで 3 回、同一配合について 3 回行い、以後の図では、同一配合の計 9 回についてのデータ平均値を各配合ごとにプロットし、同一の高性能減水剤について、スプライン回帰による近似曲線を示している。

図-2.3 は、練り混ぜ方法 (a) によるものである。シリカフェーム結合材比の 0% と 5% の結果から、シリカフェームも流動性に寄与していることが判る。また、5% 以上シリカフェームを混入すれば、高性能減水剤の混入率 3% がやや大きな流下時間を示すが、5% と 7% では差異はほとんどなく、およそ 10 秒前後の流下時間となっている。シリカフェームを混入しない場合では高性能減水剤 5% では流下時間が 20 秒を超える結果となっている。図-2.4 は練り混ぜ方法 (b) によるもので、流動性による傾向は練り混ぜ方法 (a) とほぼ同様であるが、全体的に (a) に比べて流動性は向上した結果が得られ、シリカフェームを 5% 以上混入すれば、減水剤の量に関わらず、流下時間はおよそ 10 秒前後となっている。

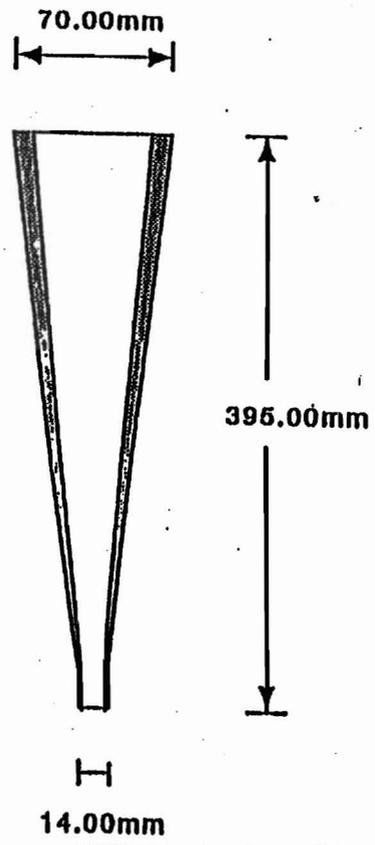


図-2.2 J14ポートの諸元

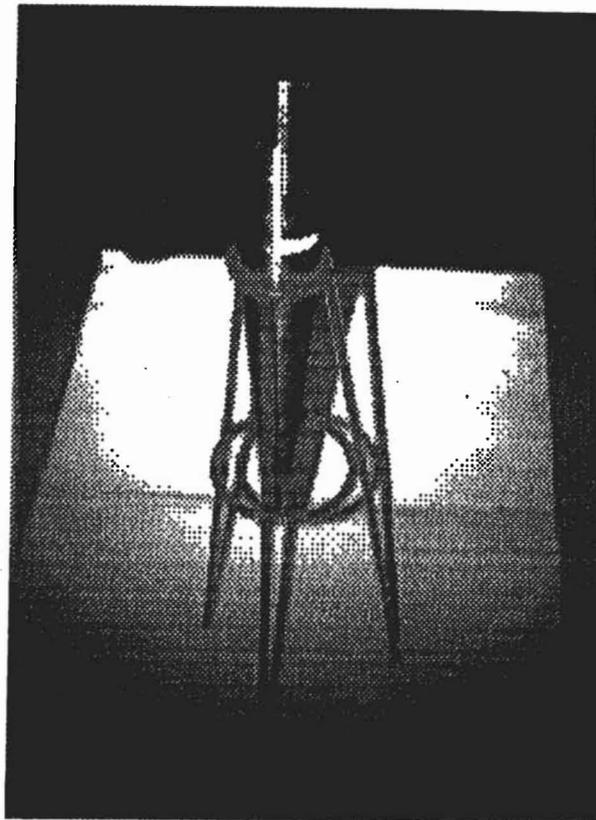


写真-2.1 J14ポート

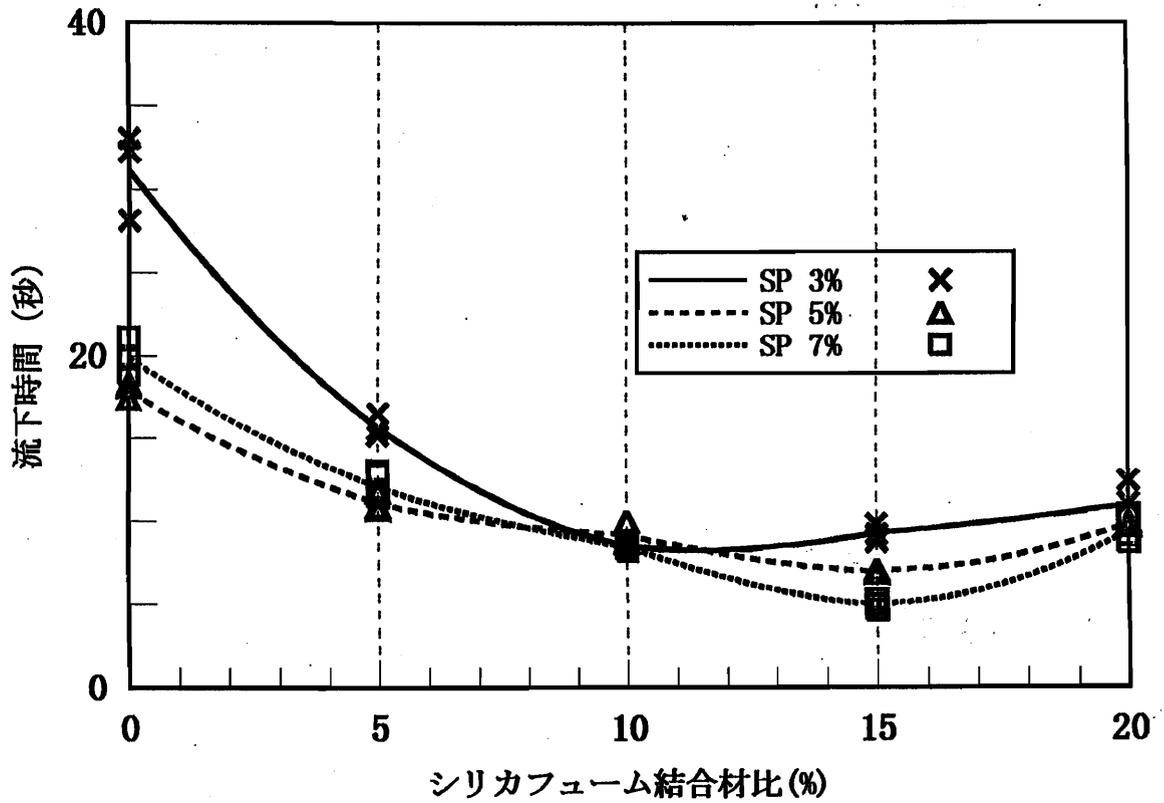


図-2.3 練り混ぜ方法(a)による流動試験結果

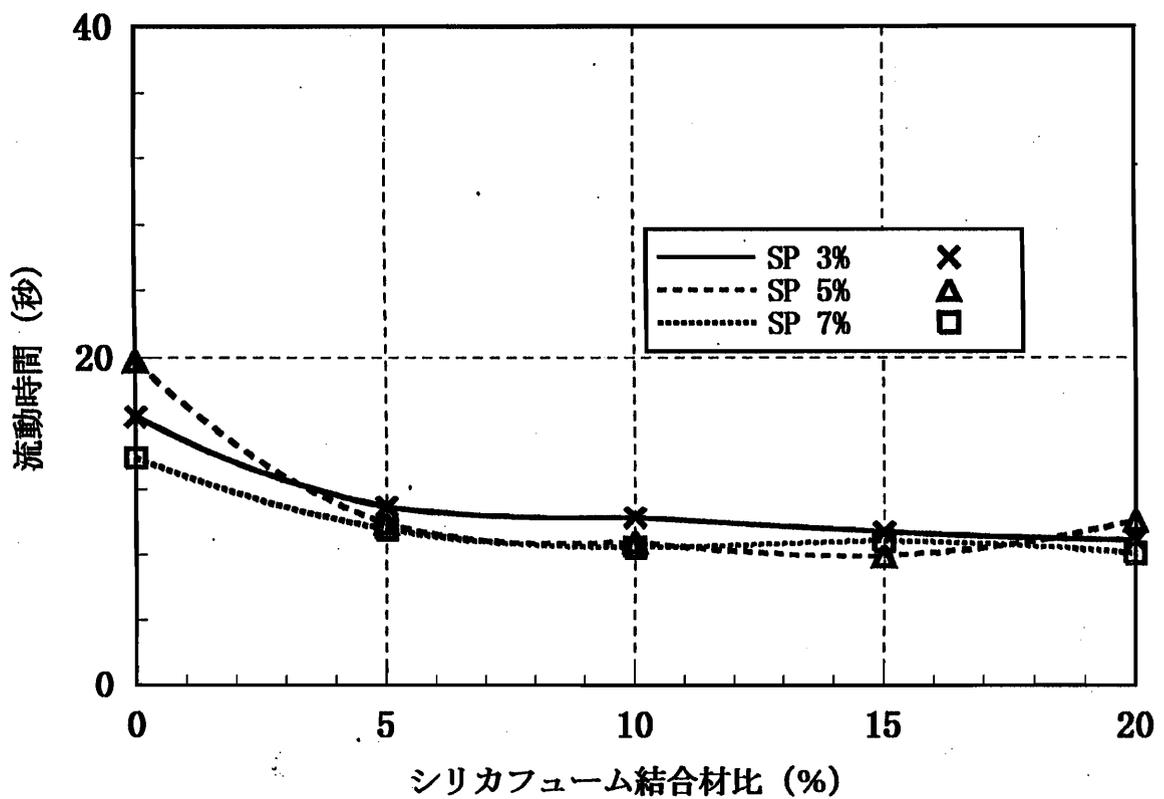


図-2.4 練り混ぜ方法(b)による流動試験結果

## 2.4 材料試験

本節では、流動試験でポンプ圧入の可能な配合での材料特性を検討するために、標準的な養生法である水中養生（水温 20℃）と実際の使用を考えてビニール袋に密閉して大気中に放置した気中養生の2ケースについて各種試験を行った。練り混ぜ方法は、水中養生では(a)の方法を、気中養生では(b)の方法を採用している。

### 2.4.1 圧縮強度

図-2.5 は気中養生における結合材に対するシリカフュームを5～20%と変化させたときの養生期間での圧縮強度の変化をみたもので、図-2.5(a)～(c)は結合材に対する減水剤を3%、5%、7%としたとき、打節後1週間おきに測定したものである。

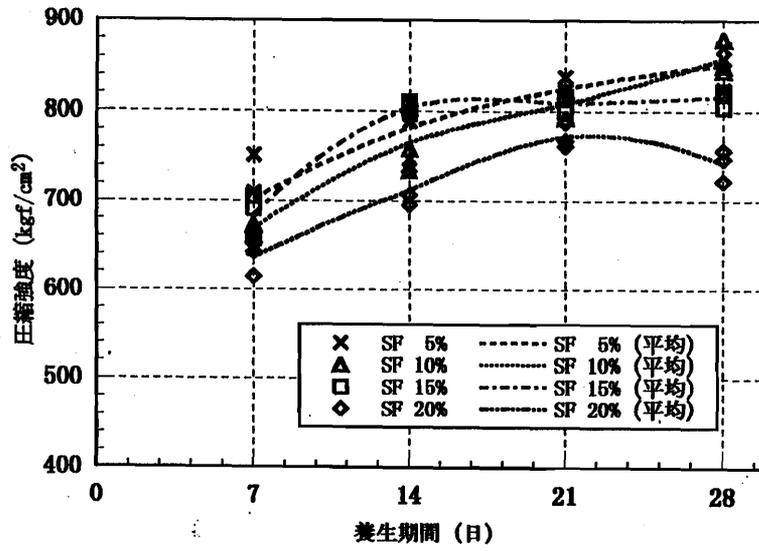
いずれの減水剤比においても、シリカフュームが少ないほど初期強度の発現は早く、シリカフュームが増加すると、初期強度の発現は遅いが、その後の強度伸びは大きくなっている。また、減水剤については、結合材比が小さいほど初期強度の発現は早くなっている。特に、減水剤比3%では約2週間でほぼ最大強度近傍まで達している。

図-2.6 は28日圧縮強度について整理したもので、(a)は水中養生の、(b)は気中養生の結果を示している。

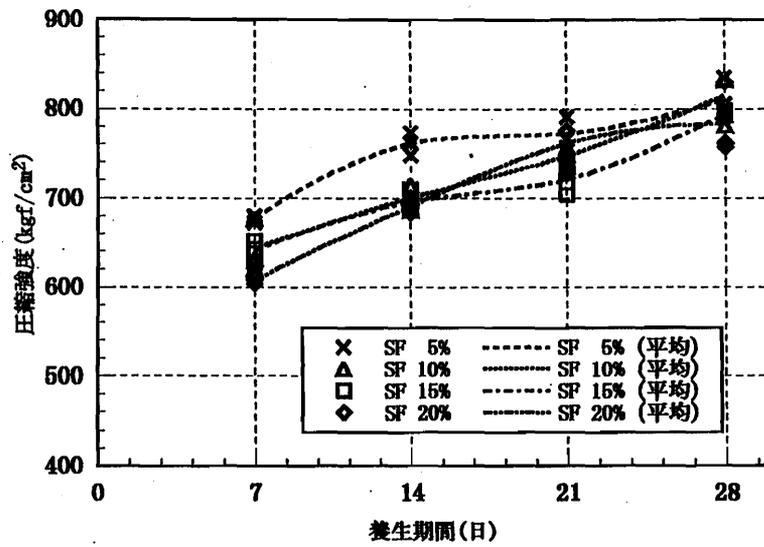
図-2.6(a)水中養生での圧縮強度には大きなバラツキがある。この理由として、流動試験の結果からも明らかなように練り混ぜが不十分であったこと、キャッピングでの成形モルタルが十分でなかったことなどが考えられる。図から明らかなように、減水剤比に対する圧縮強度のピークに違いが観られる。減水剤比3%ではシリカフューム比15%で、減水剤比5%ではシリカフューム比10～15%で、減水剤比7%ではシリカフューム10%で各減水剤比に関する圧縮強度のピークが観られる。これらのピーク値はいずれも800kgf/cm<sup>2</sup>を超えているので、通常のプレユーロックスの圧縮強度が500kgf/cm<sup>2</sup>であることを考えると、高強度化を十分に果たしていると考えよう。特に減水剤比3%と7%においては、その強度は900kgf/cm<sup>2</sup>にも達している。

図-2.6(b)は気中養生でのデータを整理したものであるが、参考のため、水中養生で得られた各減水剤比の回帰曲線のみも図示した。図中、(堤)とあるのが、水中養生の結果である。気中養生では、水中養生ほど明確なピークは存在していない。水中養生と大きく異なる点は、減水剤比が大きくなれば、同一のシリカフューム比に対して、圧縮強度は低減する傾向にある。さらに、シリカフューム比も10%を超えれば、むしろ圧縮強度は低減していくようである。この理由としては、気中養生では水中養生に比べて水分発散が大きいこと、シリカフュームのポズラン反応が十分に行われていないと考えられる。

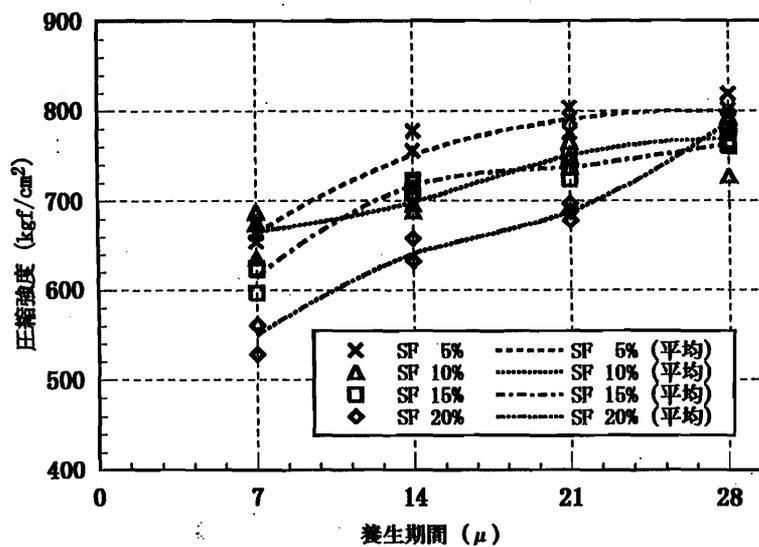
実際の施工での中詰めモルタルはソケットに打節後、大気中に放置して養生されるので、気中養生で得られた結果によるものとなる。ここでの結果から、ポンプ圧入が可能で、最大圧縮強度が期待できるの減水剤比を3%とし、シリカフュームを5～10%とすべきであることが判る。



(a) SP3%での圧縮強度

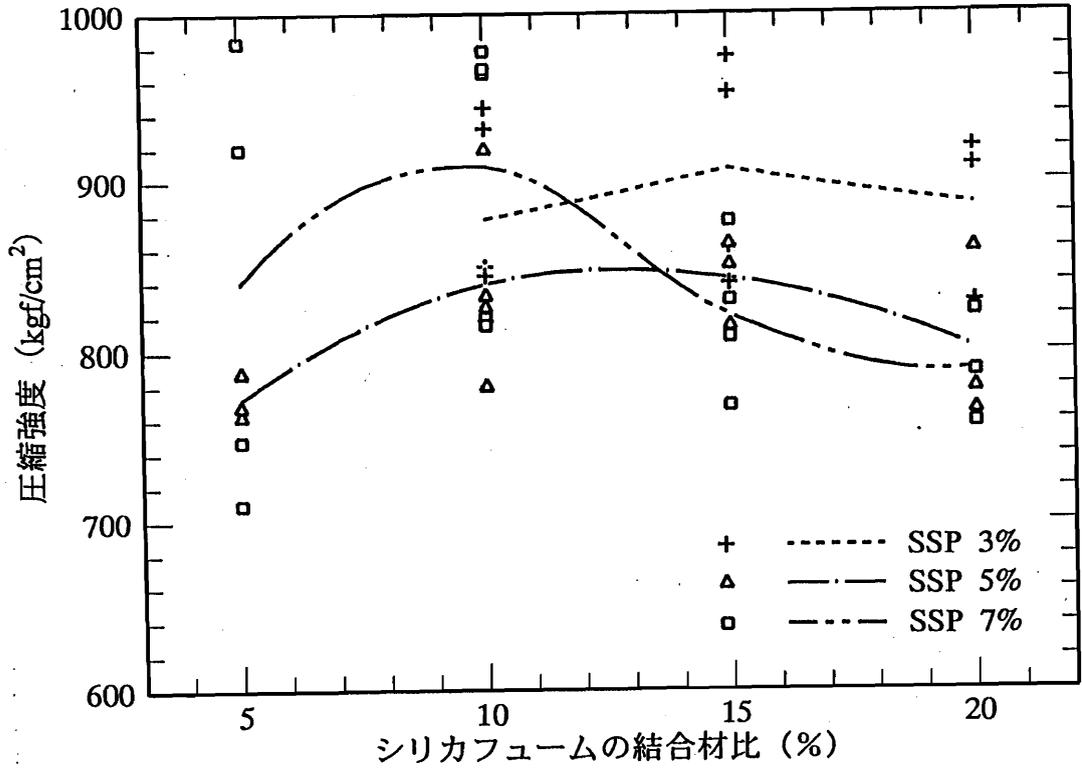


(b) SP5%での圧縮強度

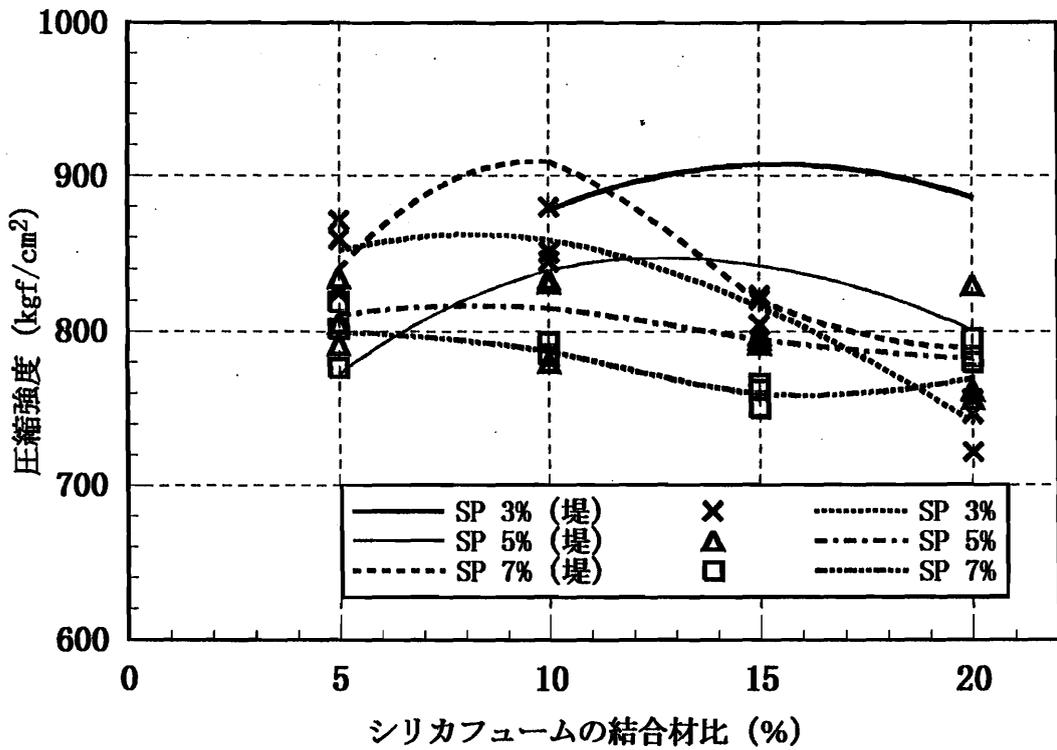


(c) SP7%での圧縮強度

図-2.5 気中養生での養生期間の圧縮強度



(a) 水中養生での圧縮強度



(b) 気中養生での圧縮強度

図-2.6 28日圧縮強度

### 2.4.2 応力-ひずみ関係

応力-ひずみ関係について考察する。図-2.7 は養生期間別の圧縮応力に対する2方向ひずみの関係を図示したもので、本図は結合材に対する高性能減水剤比は3%、シリカフュームは10%の気中養生の例である。図から明らかなように、養生期間の日数が増せば、圧縮強度は高くなり、弾性係数も増加する傾向にあることが判る。1週間の養生では、圧縮応力に対する2方向ひずみは大きな非線形伸びを呈するが、養生期間が長くなり、圧縮強度が高くなると、ひずみの伸びは低減する傾向にある。

図-2.8 には、(a)結合材に対するシリカフュームの比を5%とした場合と(b)10%とした場合の水中養生を気中養生の養生期間4週間目の圧縮応力-2方向ひずみの関係を図示したもので、図中、(堤)とあるのが水中養生によるもので、他は気中養生によるものである。前節の「圧縮強度」に関する考察でも記述したように、水中養生ではシリカフュームに対する高性能減水剤の量の変化によって、圧縮強度は大きく変化しており、気中養生では減水剤比3%が最大の圧縮強度となるのが判る。しかしながら、2つの養生方法による圧縮応力に対する2方向ひずみの伸びは、養生方法による差異はそれほど大きいものではなく、圧縮強度が応力に対するひずみの伸びに大きく影響するようである。

横ひずみと縦ひずみは定性的には合致している。

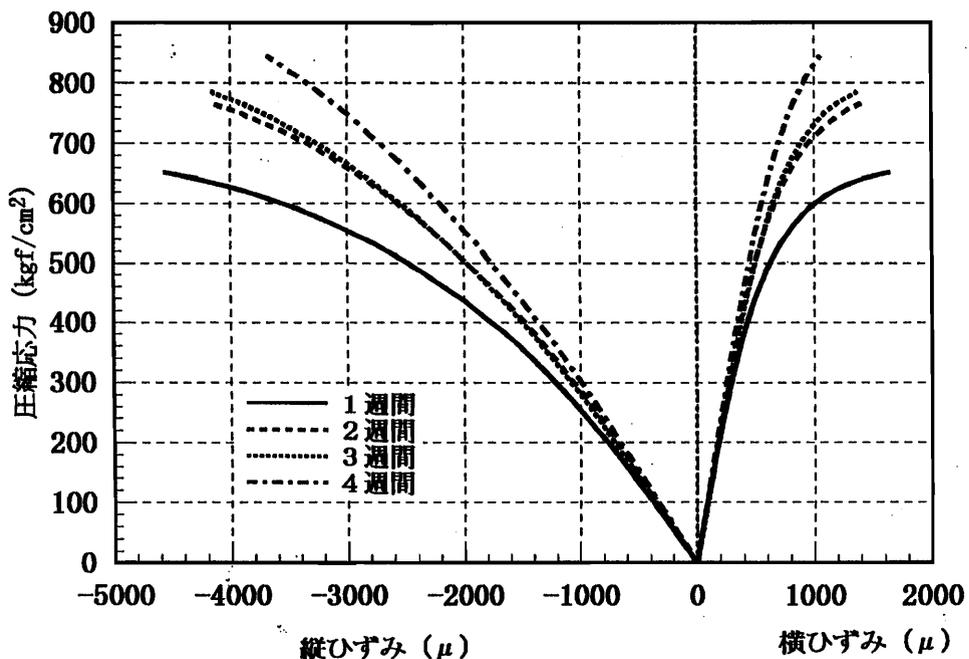
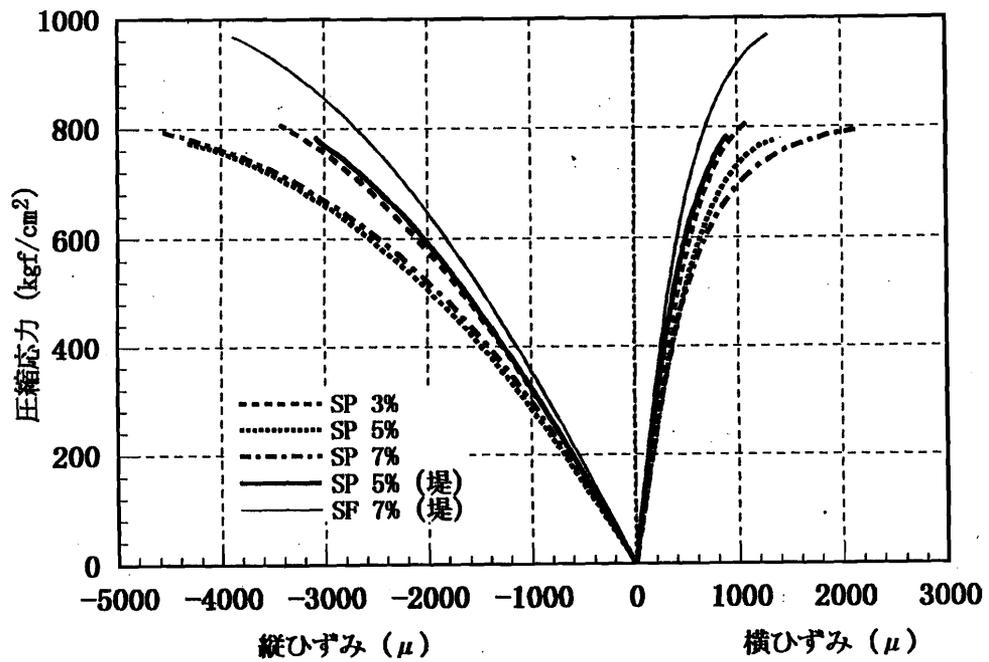
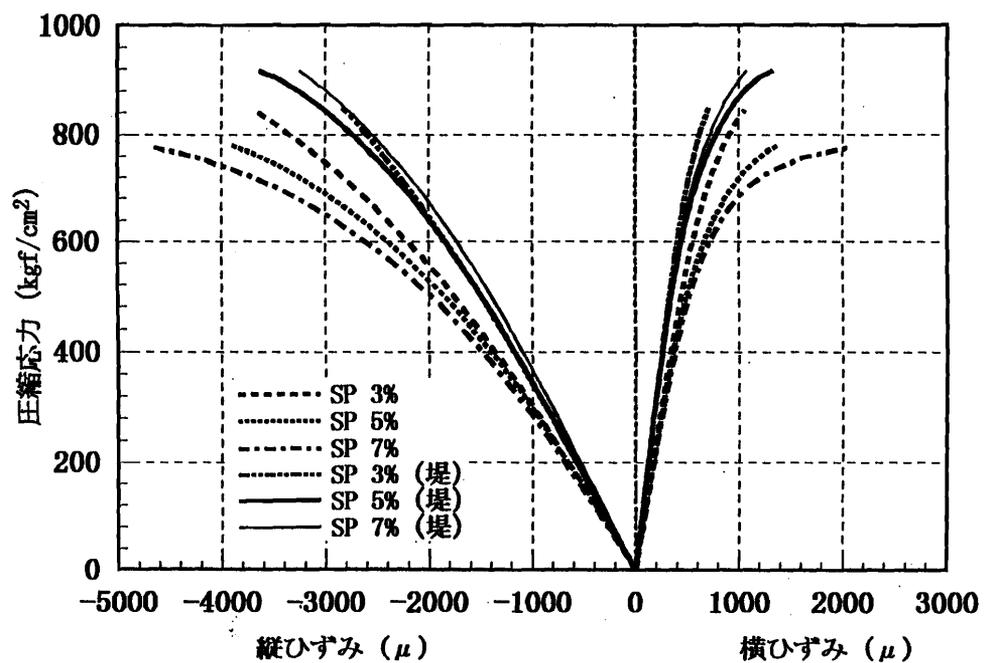


図-2.7 気中養生での養生期間別応力-ひずみ関係



(a) シリカフューム比 5%



(b) シリカフューム比 10%

図-2.8 養生4週間の2つの養生の応力-ひずみ関係

### 2.4.3 材料特性

前節で得られた応力とひずみの関係から、高強度モルタルの弾性係数、ポアソン比、引長強度などの材料特性について、検討する。

ここでの弾性係数は、以下の式より算出した<sup>12)、13)</sup>。

$$E_1 = (S_1 - S_2) / (e_1 - 50) \quad (1)$$

ここに、 $E_1$  : 単調増加载荷により求められた弾性係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$S_1$  : 最大荷重の 1/3 に相当する圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$S_2$  : 縦ひずみ 50 $\mu$  のときの圧縮応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$e_1$  : 圧縮応力度の  $S_1$  ときの縦ひずみ ( $\mu$ )

図-2.9 は気中養生された高強度モルタルの高性能減水剤の変化に対する圧縮強度と弾性係数の関係を示したもので、図中の各ラインは各々の高性能減水剤の量に関して得られたデータからの回帰曲線を示すものである。図から明らかなように、3つの高性能減水剤の変化による弾性係数と圧縮強度の関係への差異はほとんど見受けられない。シリカフェームについても図は割愛するが、同様であった。このことは、弾性係数は圧縮強度のみに依存していることを示すもので、弾性係数と圧縮強度の関係は高性能減水剤やシリカフェームの量に関わりなく、すべてのデータをひとまとめにして考察できることになる。

よって、図-2.10 に水中養生と気中養生についてのすべてのデータとその回帰曲線を示す。これまでの図と同様に、図中の(堤)が水中養生によるものである。水中養生では、圧縮強度のみの図示したときと同様にバラツキが観られるが、気中養生には大きなバラツキは観られない。この違いは養生条件の違いではなく、むしろ練り混ぜ方法によるものと考えられる。

図-2.10 から明らかなように、水中養生は気中養生に比べて、圧縮強度に対する弾性係数は大きくなっているが、気中養生の圧縮強度に対する弾性係数の変化は、水中養生のそれに比べて大きくなるようである。今回の高強度モルタルの圧縮強度に対する弾性係数をコンクリートのそれらと比較すると、圧縮強度 800kgf/cm<sup>2</sup>に対するコンクリートの弾性係数は、 $3.5 \times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup>となるが、本図の回帰曲線から得られる高強度モルタルの弾性係数は、水中養生では  $3.2 \times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup>で、気中養生では  $2.9 \times 10^5$  kgf/cm<sup>2</sup>となり、普通コンクリートよりもやや小さな値となっている。

ただし、コンクリートの値は標準示方書から算出されたもので、圧縮強度 800kgf/cm<sup>2</sup>を普通コンクリートとしては適用してよいかは疑問である。

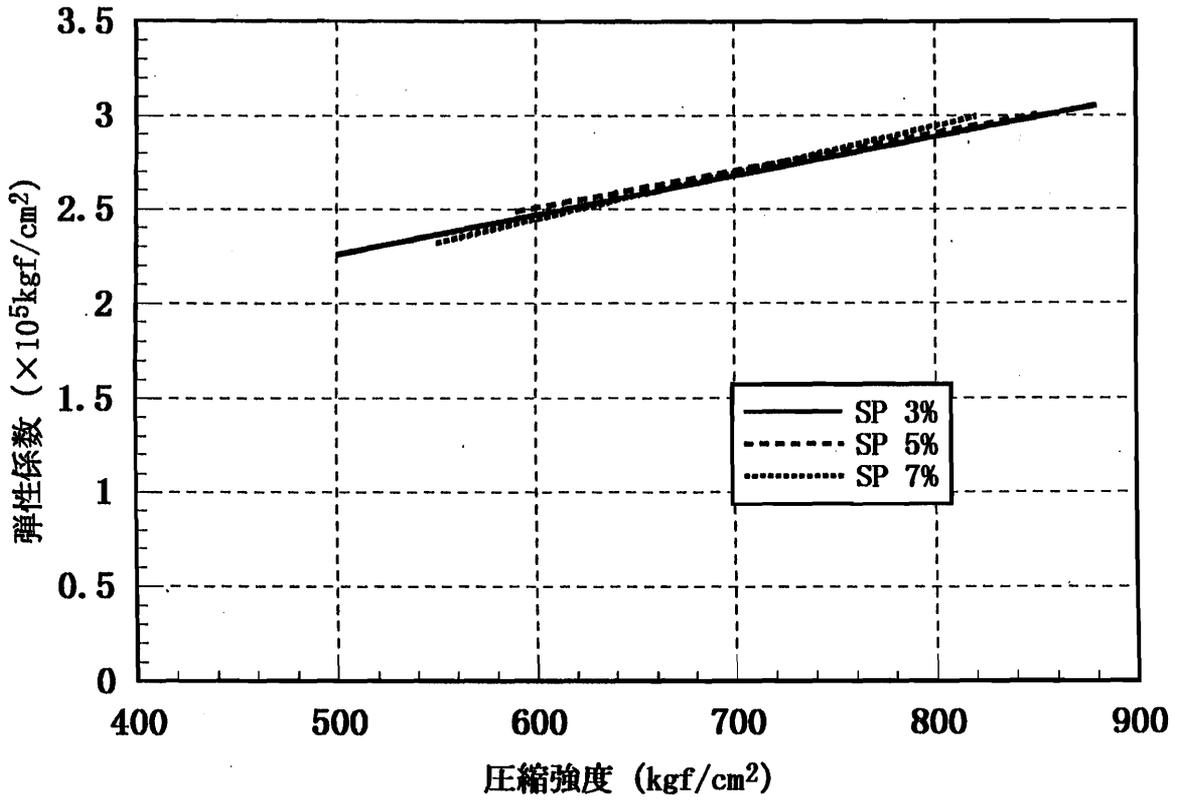


図-2.9 高性能減水剤の量の変化に対する弾性係数と圧縮強度の関係

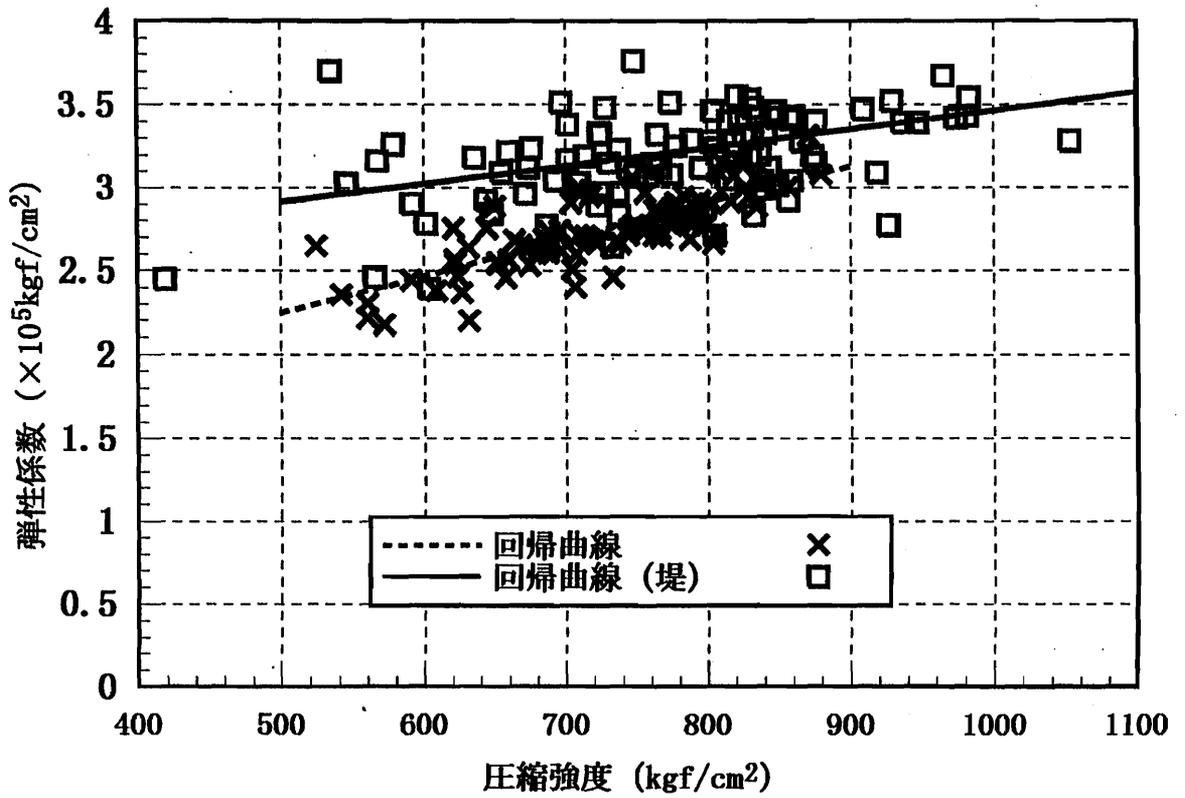


図-2.10 すべてのデータによる弾性係数と圧縮強度の関係

次にポアソン比について検討する。図-2.11 は弾性係数の適用範囲内の縦ひずみと横ひずみから算出されたポアソン比を、水中養生と気中養生に分けて図示したもので、4週間強度に対するものである。圧縮強度に対するポアソン比も、弾性係数の場合と同様に、高性能減水剤などの影響はほとんど見られなかった。

図-2.11 から明らかなように、圧縮強度に対するポアソン比は気中養生で圧縮強度の増加に伴って、やや上がる傾向がみられるものの、いずれの養生条件においてもほとんど変化していないと云えよう。その値は気中養生では0.23で、水中養生では0.25と、やや水中養生が小さくなっているが、その差もわずかである。

図-2.12 は圧縮強度に対する（割裂強度／圧縮強度）比を示したものである。水中養生では回帰曲線は整理していたが、個々のデータについては不明となり、ここでのデータのプロットは気中養生のみとなった。この各データをみると、0.03～0.07と大きくばらついており、このようにバラツキのあるデータからの回帰曲線がどの程度信頼性があるかは疑問となるが、考察は回帰曲線にて行くと、水中養生では、0.04、気中養生では0.06程度となる。

以上の結果を圧縮強度に対する弾性係数、ポアソン比、（割裂強度／圧縮強度）を数値化して整理すると、表-2.3のようになる。

表-2.3 高強度モルタルの材料特性

圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	養生方法	600	700	800	900	1000
弾性係数 (×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	気中養生	2.4666	2.6861	2.9061	3.1261	3.3461
	水中養生	3.0216	3.1316	3.2416	0.3516	3.4616
ポアソン比	気中養生	0.2398	0.2438	0.2478	0.2518	0.2558
	水中養生	0.2257	0.2262	0.2267	0.2272	0.2277
割裂強度／圧縮強度	気中養生	0.044	0.044	0.043	0.043	0.042
	水中養生	0.065	0.064	0.063	0.062	0.061

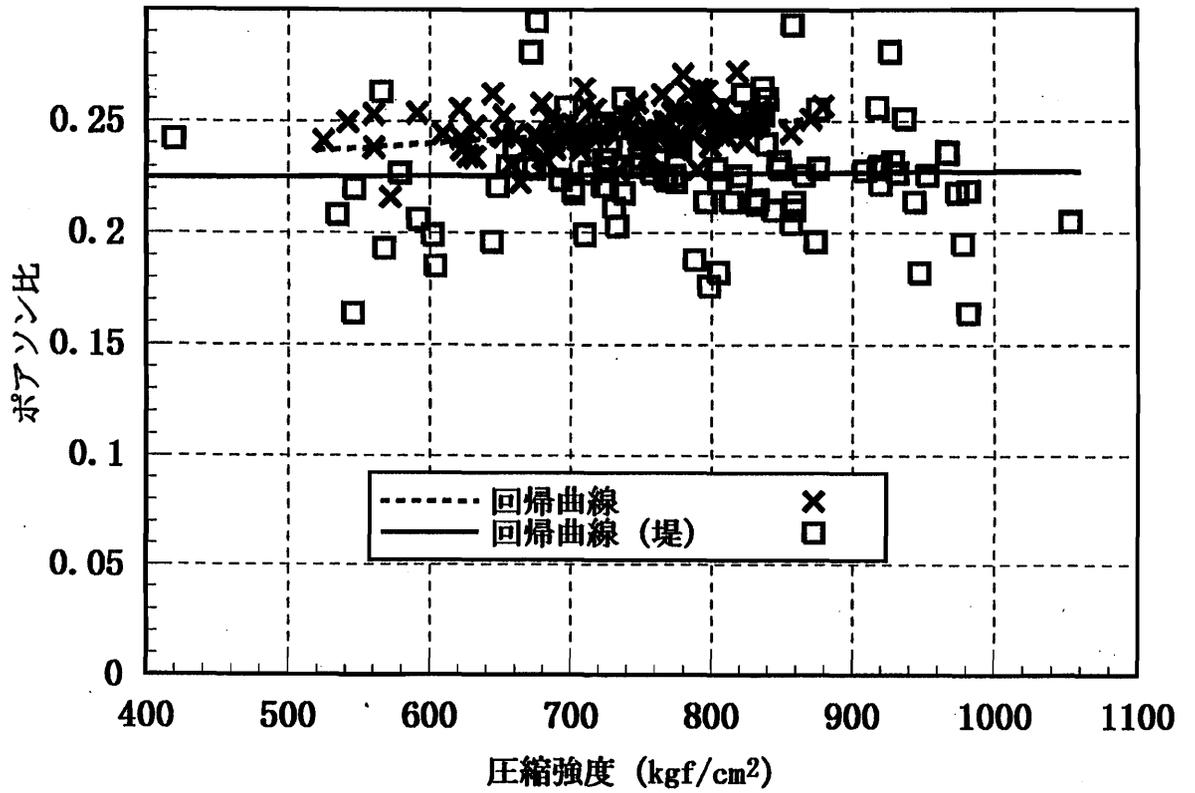


図-2.11 圧縮強度に対するポアソン比

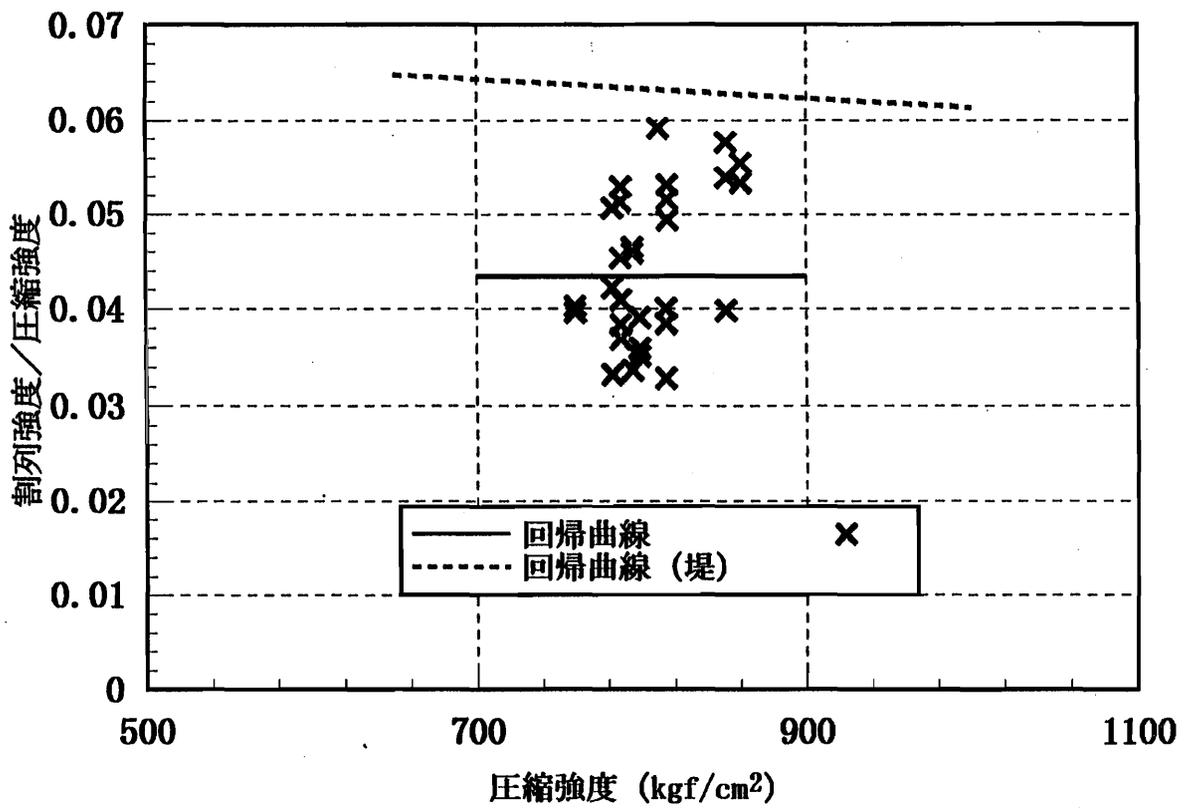


図-2.12 圧縮強度に対する(割列強度/圧縮強度)

## 2.5 結語

円錐形ソケットの中詰め材を、従来の亜鉛銅合金から安価で作業しやすい無収縮モルタルに替え、ケーブルの定着を図ったが、ソケット内部のケーブルの分解の仕方によっては、モルタル強度の不足が一因で十分な定着を維持できないことが明らかとなった。

本研究では中詰め材としてのモルタルの高強度化を図ることを目的に、高強度化にはシリカフュームを混入し、ポンプ圧入される中詰め材としての流動性の確保には高性能減水剤を添加することにしたが、モルタルにこのような2つの添加物を混入した配合は十分に提案されていなかった。

本章では無収縮モルタルの高強度化と流動性確保のための最適な配合や練り混ぜ方法を明確にするとともに、圧縮強度、弾性係数などの材料特性についても検討している。これらの試験において、試験結果に一般性のある標準養生とも云える水中養生したものと、ソケットの中詰め材として適用された場合の養生状態である密封気中養生の2つの養生状態についての検討も行った。

本章で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

1. 練り混ぜ方法は図-2.4(b)のような方法がより安定した流動性と強度が得られる。
2. シリカフュームも流動性の向上に寄与しており、ポンプ圧入に必要な流動性の確保には結合材に対して、高性能減水剤を3%以上、シリカフュームを5%以上混入すればよい。
3. 気中養生されたモルタルの圧縮強度は水中養生されたものより低下するが、いずれの場合でも、 $800\text{kgf/cm}^2$ 以上の圧縮強度は得られる。
4. 弾性係数は圧縮強度と強い相関があり、水中養生の弾性係数は気中養生よりもやや大きくなる。
5. ポアソン比と（割裂強度／圧縮強度）は圧縮強度とはほぼ無関係で一定となり、2つの養生状態ではやや異なるが、それらの差異は少ない。

本章で得られた流動性を有する高強度モルタルは、ソケットの中詰め材としてばかりでなく、種々のポンプ圧入され、高強度が要求されるグラウト材、あるいは補修用モルタルとしても適用できるを考えれば、その有用性は高いものとなる。

## 第3章 円錐形ソケットによるケーブル定着法の開発

### 3.1 序

円錐形ソケットによるケーブルの定着では中詰め材として、従来は亜鉛銅合金が使用されてきたが、この場合のソケット内部に挿入されたケーブルは百数十本のすべての素線に分解されて、素線がソケット内部にほぼ充満するような形で配置されてきた。

本研究は中詰め材を安価で誰でもが取り扱える無収縮あるいは高強度モルタルに替え、その定着機能を検討するもので、定着法のより簡易化を図ることを目的に、ソケット内部のケーブルの分解をできるだけ省力化する方向で、種々のケーブル分解状態に関する緊張試験を行った。すなわち、①亜鉛銅合金の場合と同様にソケット内部のケーブルを素線分解した場合、②ケーブルの分解を粗くストランド単位に分解した場合、③ケーブルを全く分解することなく、そのまま挿入した場合（このケースを以後、ケーブル単体と称することにする。）の大別して、3つのケースについてである。緊張試験では、ケーブルの伸び量、ソケットからのケーブルの引き抜け量、ケーブル引き抜けによって生じるソケット内圧などが測定された。

緊張試験の結果、①の素線分解では無収縮モルタルを適用しても、ケーブル破断までケーブルのソケットからの引き抜けも観られず、十分な定着を維持することができたが、②のストランド分解や③のケーブル本体では、ソケット先端部の広がりによるソケット降伏あるいは無収縮モルタルの付着切れやひび割れが生じ、定着は不十分な結果となった。そこで、ソケットの先端部を補強するための補強円筒材の取り付けや、前章で得られた流動性を有する高強度モルタルなどを使用し、定着力の向上を図った。しかしながら、このような改良を行っても、十分な定着力を得ることができなかつたので、物理的に引き抜けを抑制する方法として、武田らのフレキシブル鉄筋を参考にして<sup>14)</sup>、ストランドの端部をわずかに分解するなどの方法や定着治具の設置などの改良を行った。その結果、ストランド分解においては、ケーブルの公称破断強度を維持できる定着をえることができ、ケーブル本体ではケーブルの公称破断強度までは定着を維持できないものの、PCT工法などで本ケーブルを採用する際の使用荷重のおよそ2倍までは定着が可能となった。

### 3.2 実験概要

本実験で使用した緊張装置は写真-3.1 のようなものであり、緊張試験を模式的に示すと図-3.1 のようになる。ケーブル両端にモルタルを充填した円錐形ソケットを取り付け、一端のソケットをアンカーフレームに固定し、多端のソケットを油圧ジャッキにて緊張した。本実験で使用したケーブルとソケットはケーブルエレクション工法の1つであるPCT工法で採用されているものであり、ケーブルは公称破断強度 158tf を有する、1ストランドあたり素線 19 本の7ストランドから成る  $\phi 50$  のケーブルであり、ソケットは TSK ソケット強D型の円錐形ソケットで、図-3.2 に示すようにソケットの本体部分は長さ 30cm の円錐形となっており、固定側の広口部の板厚は 23mm と厚いが、先端部の板厚は 10mm と薄い者となっている。そのため、ケーブルの引き抜けが大きいと、先端部は広がり、降伏してしまう。そこで、その降伏を防止するために、ソケットの先端部を図に示すような陰影のついた円筒材 ( $a \times b$ 、これらの  $a$ 、 $b$  の具体的な値は後述する) をスポット溶接にて補強した。

図-3.1 での  $a$  と  $c$  はケーブルのソケットからの引き抜け量を測定するための、そしてケーブル中央点  $b$  はケーブルの伸び量を測定するためのデジタル変位計 ( $200\mu/\text{mm}$ ) の設置を示すものである。

図-3.3 は緊張時にソケットが受けるモルタルからの内圧を計測するために貼付した2方向直交ひずみゲージの貼付位置を示したもので、円周方向には3等分点に貼付されている。ゲージ方向は円周方向と緊張方向である。

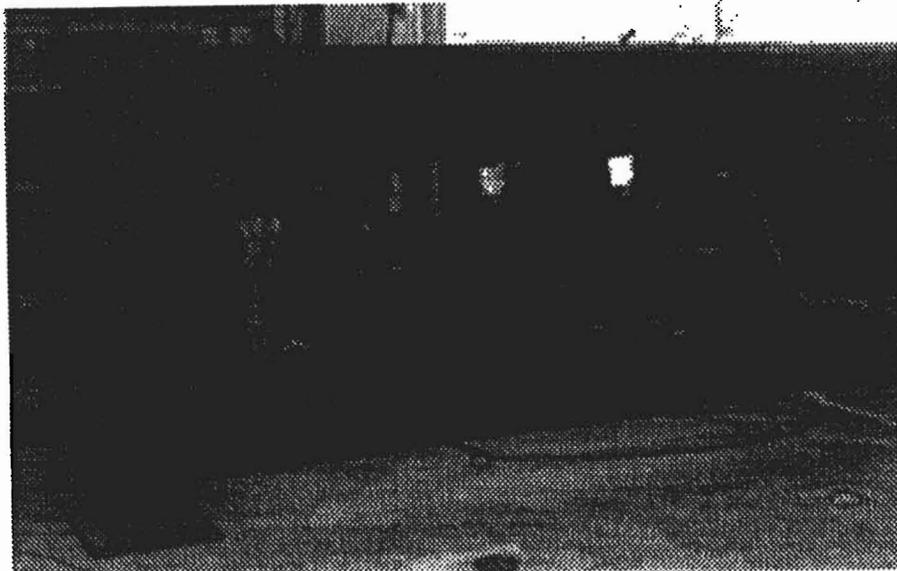


写真-3.1 実験装置

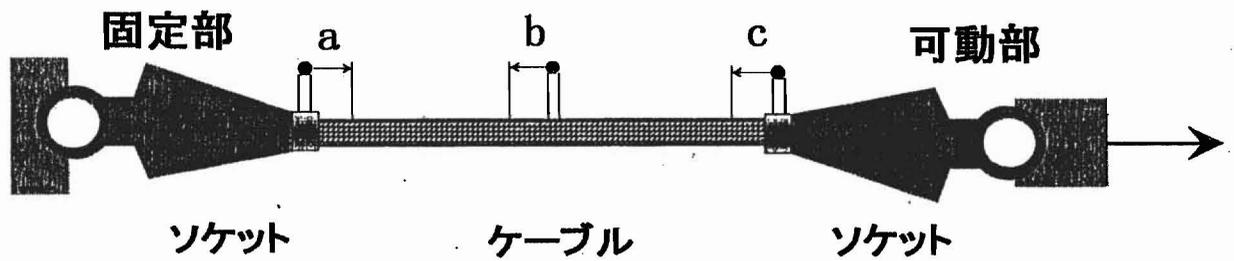


図-3.1 緊張試験の模式図

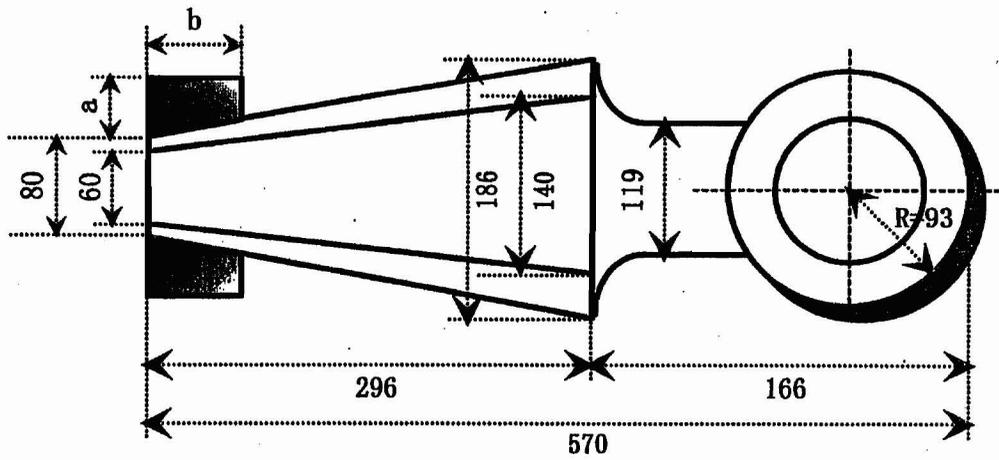


図-3.2 円錐形ソケットの概要

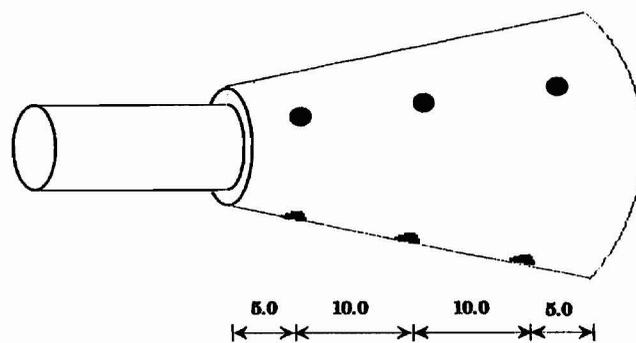


図-3.3 2方向直交ひずみゲージの貼付位置

### 3.3 ソケット内部のケーブルの状況

本実験ではソケット内で、133本の全素線に分解したもの、7本のストランド単位に分解したもの、ケーブルをまったく分解せずに単体のままの、3種類に大きく分けられた条件でのケーブルを挿入した。以後のケーブルの状況を示す図で、(No.○)のような番号付けをしているのは、図-3.4に示すように供試体番号を意味する。

図-3.4は従来の中詰め材である亜鉛銅合金の場合と同様に、ケーブルを133本のすべての素線に分解された供試体を模式的に示したものである。素線19本が小縄状態に巻かれた7本のストランドをさらに組み上げてできているケーブルを、元の素線状態に戻すのは大変な労力と時間を要する。さらに、ケーブルを素線にふりほどいた状態で、素線に付着した油を希塩酸で洗浄したが、これも大変な作業であった。

図-3.5は7本のストランド単位に分解したもので、広口部でソケット内部に十分な広がりを持たせるように、(c)のような3角形に組まれた2つの針金を星型にして設置して、無収縮モルタルを注入する際に、ストランドの広がり形状が変形しないようにした。ストランドは模式的に描かれたようではなく、螺旋状態で広がっている。図-3.5(a)はストランド分解したままのもので、(b)はソケットの先端部が降伏しないように補強したものである。両者のモデルでは十分に緊張力を維持できなかったため、図-3.5(d)のように、物理的に引き抜けを抑制する目的で、広口部側の10cmを粗く素線に分解した。

図-3.6はソケット内でケーブルを分解せずに、ケーブルそのままを挿入したものを示したものである。(a)はケーブル単体そのまま、(b)はソケット先端部を補強したものである。(c)以降もソケット先端部を補強したのに加えて、(c)はケーブルの端部に図-3.7(a)に示すようなPC鋼棒の定着に使用するチャックを模倣した治具を取り付けたもの、(d)はストランド分解で採用したようなケーブル端部の1部を素線まで分解したもので、その分解状況は(e)に示すように、芯となるストランドはそのまま、周囲のストランドを分解した。(f)はさらに抵抗機能を向上させるために、図-3.7(b)のような円盤を取り付けたものである。

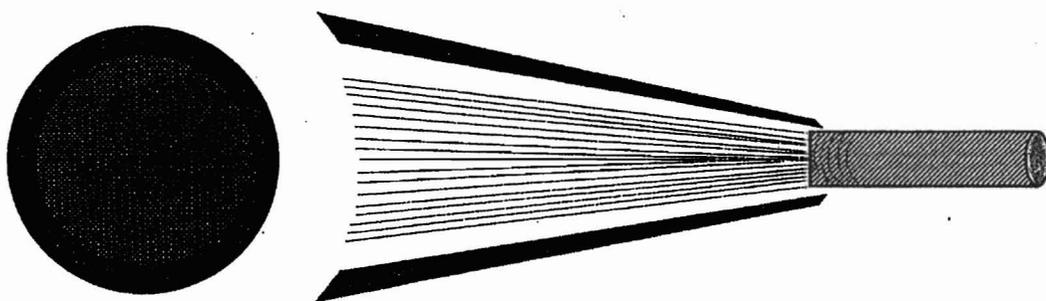
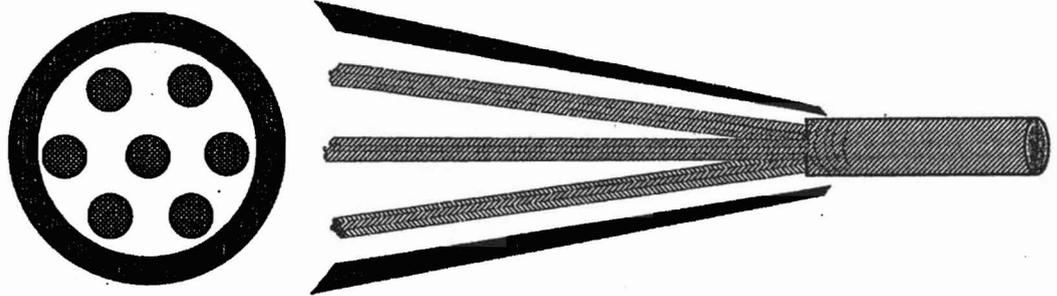
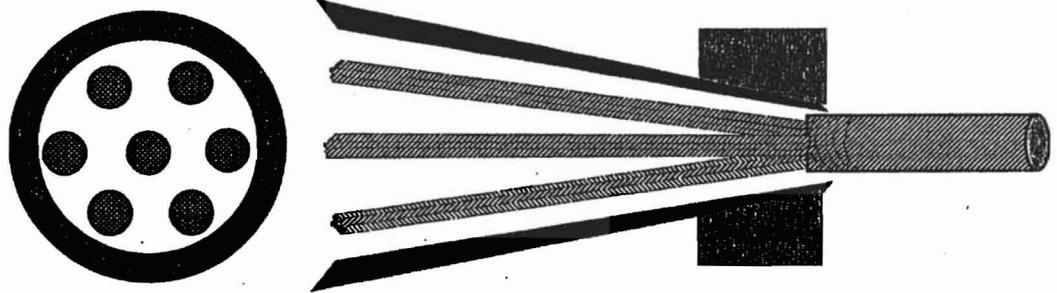


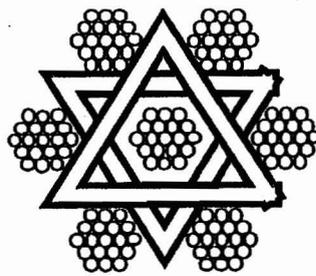
図-3.4 素線分解の状況 (供試体番号 No.1)



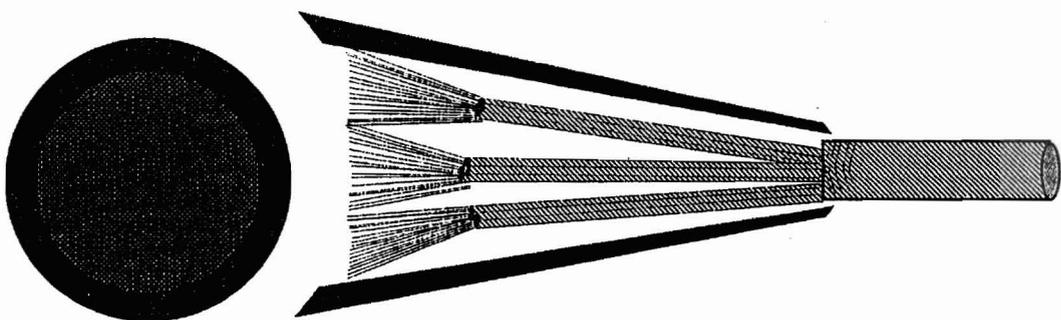
(a) 改良なし (No.2)



(b) ソケット改良 (No.3、8、12)

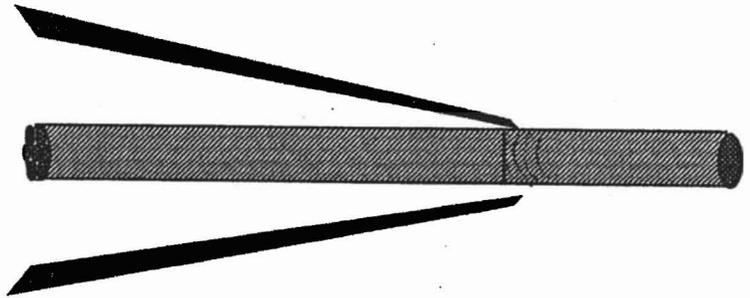


(c) ストランドの分解状況

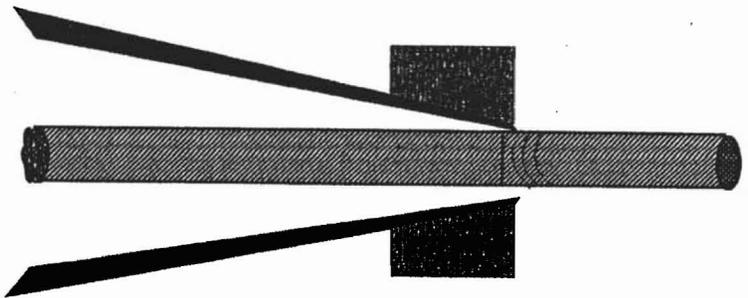
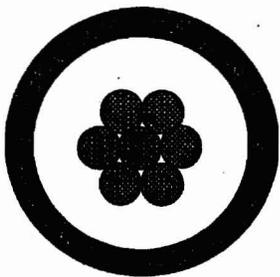


(d) ソケット改良及びケーブル改良 (No.9)

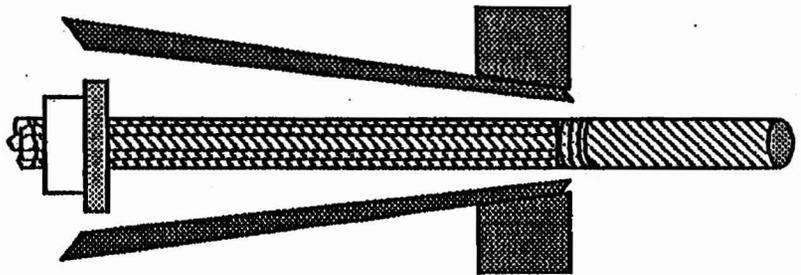
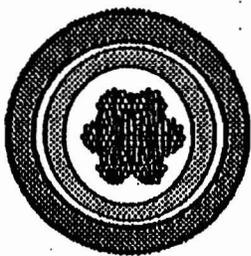
図-3.5 ストランド分解の状況



(a) 改良なし (No.4)

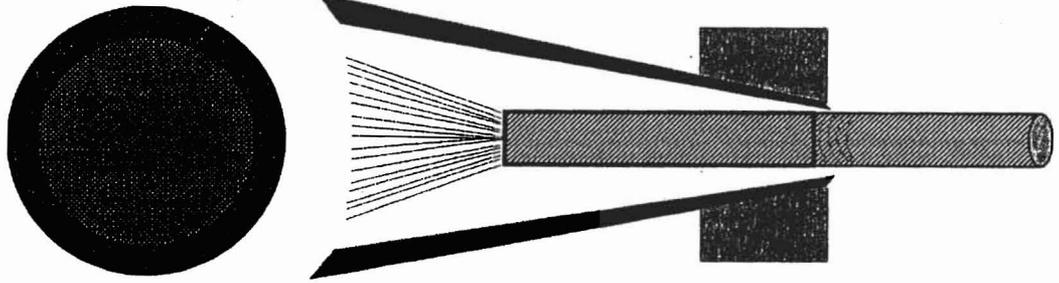


(b) ソケット改良 (No.5)

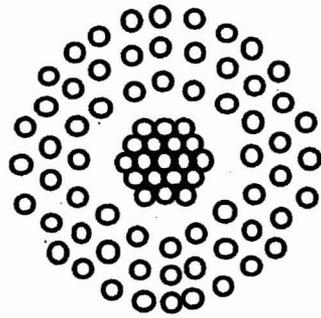


(c) ソケット改良及び治具設置 (No.6)

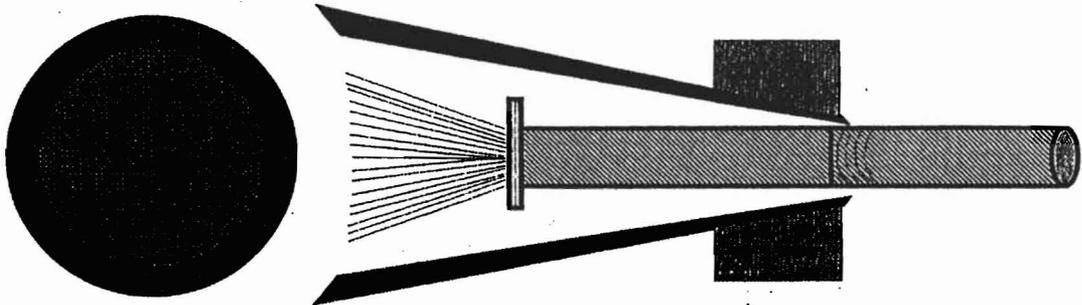
図-3.6 ケーブル単体の状況 (その1)



(d) ソケット及びケーブル改良 (No.10)

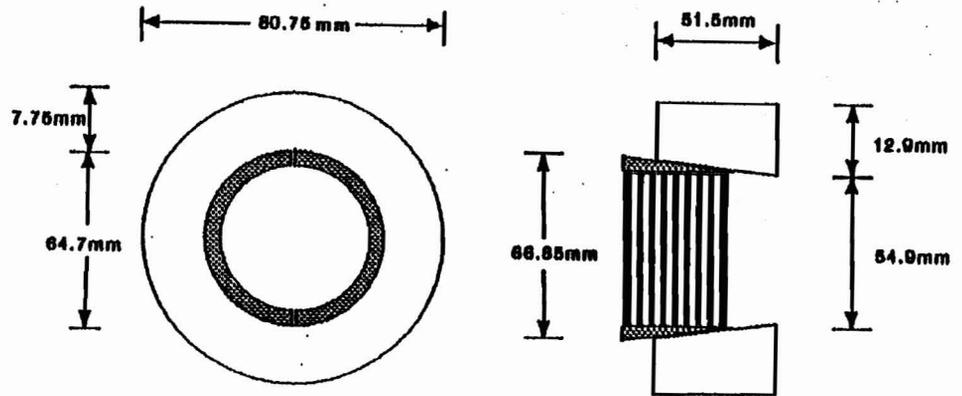


(e) ケーブルの分解状況

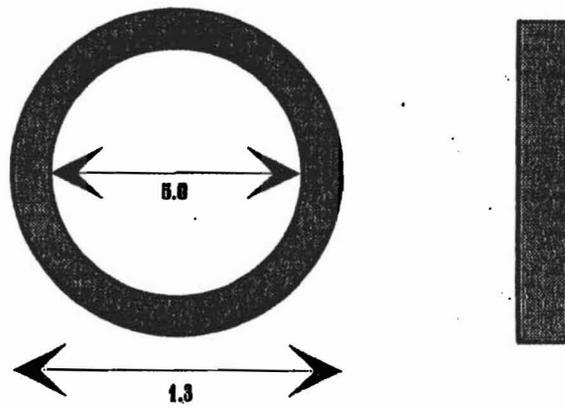


(f) ソケット及びケーブル改良ならびに治具設置 (No.7、11)

図-3.6 ケーブル単体の状況 (その2)



(a) No.6 の治具



(b) No.7 と No.11 の治具

図-3.7 治具の概要

### 3.4 供試体と終局状況

前節でソケット内部のケーブルの状況を具体的に示したが、本節ではこれらの供試体とその終局状況について具体的に検討する。

表-3.1は表-3.2に示す各供試体の中詰めモルタルの配合表である。供試体No.1～No.7までは市販されている無収縮モルタルを使用したものであり、No.8は第2章で紹介した図-2.1(a)の練り混ぜ方法による高強度モルタルを、No.9からは図-2.1(b)による練り混ぜ方法による高強度モルタルを使用したものである。

表-3.2の各供試体による終局状況を考察する。表中の終局状態の各語句について説明する。「公称破断強度」とは、ケーブルの公称破断強度以上の緊張力を維持したことを意味し、「ソケット降伏」とは、ソケット先端部がケーブルの引き抜けによって広がり、降伏したことを、「引き抜け大」とは、ソケットからのケーブルの引き抜けが緊張初期から大きく、3cmを超えたことを、「変形流れ」とは、線形領域と流れ領域がおおよそ識別でき、変形が3cmを超えたことを意味するものである。

表-3.2(a)は無収縮モルタルを中詰め材に採用した結果である。

ソケット内部でケーブルが素線分解された供試体No.1では中詰め材として通常の無収縮モルタルを使用し、ソケットも改良せずとも、ケーブル破断まで緊張力を維持できている。写真-3.2に実験終了後にソケットを縦割りにカットして、内部モルタルを観察したが、ひび割れなどはまったく生じておらず、極めて健全であった。

ストランド分解したNo.2ではケーブルの先端部が緊張力64tf程度で降伏した。そこで、No.3ではソケットの先端部を表にあるようなサイズの補強円筒材を付設したものの、緊張力はNo.2の約2倍の126tfまで上昇したが、引き抜けが極端に大きいものとなった。

ケーブルをまったく分解しないケーブル単体のNo.4では、緊張力32tfと小さな緊張力でソケットの先端部が降伏している。そこで、ソケットに表-3.2のサイズの補強円筒材を付設したが、やはり78tf程度でソケットの降伏が生じた。そこで、ソケットの補強材を大きくし、端部にPC鋼棒定着治具のようなものを設置したが、定着長が小さいためと治具とケーブルの摩擦係数が低いいため、逆に定着力を弱める結果となった。そこで、ケーブルの端部を分解したうえで円盤形の治具を設置したところ、134tfまで定着力は向上した。No.3の実験終了後、中詰め材であるモルタルを観察すると、写真-3.3、写真-3.4および図-3.8に示すように、ストランド内部には緊張直角方向に多くのひび割れが発生しており、広口部からみた面にも大きな縦ひび割れが生じている。いずれのひび割れもストランド引き込みによるもので、ストランドで囲まれた円形面がその外周とは縁切れを起こした結果と思われる。

表-3.2(b)は高強度モルタルを中詰め材に使用したときのもので、素線分解については通常の無収縮モルタルにて、十分な定着力を維持できていたので、高強度モルタルでは除外した。ストランド分解およびケーブル単体のいずれにおいても、高強度モルタルの使用によって定着力は向上したものの、強度上昇は顕著なものではない。むしろ、ストランド

分解においてはストランドの端部分解、ケーブル単体ではケーブル端部の分解に組み合わせて設置した治具が大きく定着力の向上に寄与していると云えよう。

これまでの実験は、漸増载荷あるいは繰り返し载荷によるものであったが、試体 No.12 は緊張力を一定とした持続载荷で、一定の緊張力下での引き抜け試験を行ったものである。この試験は、ストランド分解、ソケット改良のときのもので、後述するが、最終的には変形流れで終局状態となった。

表-3.1 配合表

		No. 1~No. 7	No. 8	No. 9~No. 12
プレユーロックス	kg/m <sup>3</sup>	1875	1776	1776
単位水量	kg/m <sup>3</sup>	333	292	262
シリカフェーム	kg/m <sup>3</sup>	0	157	99
減水材	kg/m <sup>3</sup>	0	31.2	49.2
水結合材料比	kg/m <sup>3</sup>	35.5	27.9	26.5

表-3.2 供試体の諸条件と終局状況

(a) 無収縮モルタル

供試体 番号	ソケット内部 のケーブル状態	ソケットの改良		ケーブ ル改良	治具 設置	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	終局荷重 (tf)	終局状態
		a (cm)	b (cm)					
No. 1	素線分解	0.0	0.0	無	無	463	174.5	公称破断強度
No. 2	ストランド分解	0.0	0.0	無	無	474	64.4	ソケット降伏
No. 3		4.0	8.0	無	無	546	126.1	引き抜け大
No. 4	ケーブル単体	0.0	0.0	無	無	474	32	ソケット降伏
No. 5		2.0	5.0	無	無	523	78.06	ソケット降伏
No. 6		4.0	8.0	無	有	531.5	20.26	引き抜け大
No. 7		4.0	8.0	有	有	710	134	変形流れ

(b) 高強度モルタル

供試体 番号	ソケット内部 のケーブル状態	ソケットの改良		ケーブ ル改良	治具 設置	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	終局荷重 (tf)	終局状態
		a (cm)	b (cm)					
No. 8	ストランド分解	4.0	8.0	無	無	799	140	変形流れ
No. 9		4.0	8.0	有	無	740	161	公称破断強度
No. 10	ケーブル単体	4.0	8.0	有	無	647	73	変形流れ
No. 11		4.0	8.0	有	有	714	124	変形流れ

(c) 一定载荷試験

供試体 番号	ソケット内部 のケーブル状態	ソケットの改良		ケーブ ル改良	治具 設置	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	終局荷重 (tf)	終局状態
		a (cm)	b (cm)					
No. 12	ストランド分解	4.0	8.0	無	無	761	123	変形流れ

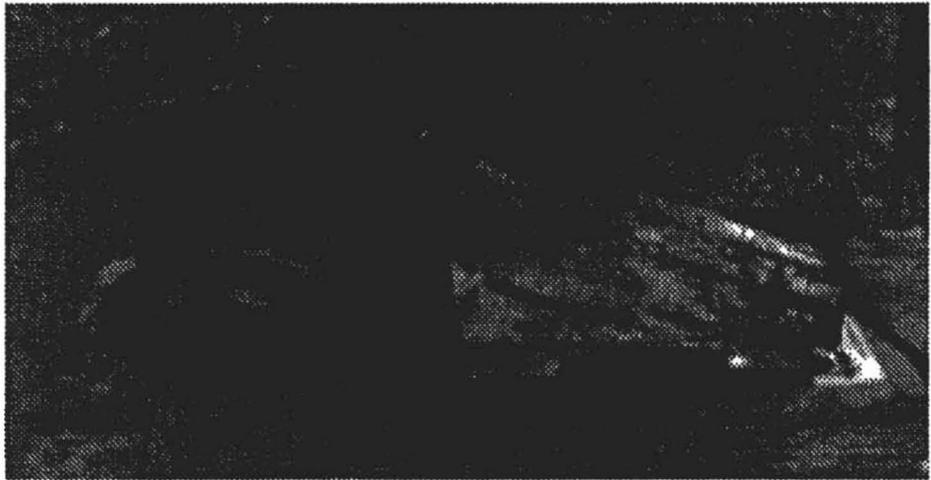


写真-3. 2 素線分解での実験終了後の状況

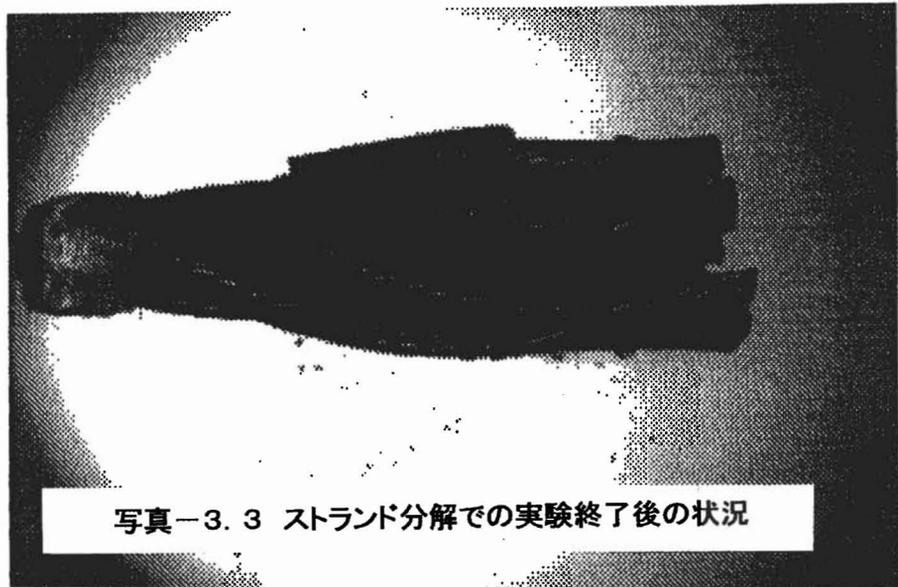


写真-3. 3 スtrand分解での実験終了後の状況

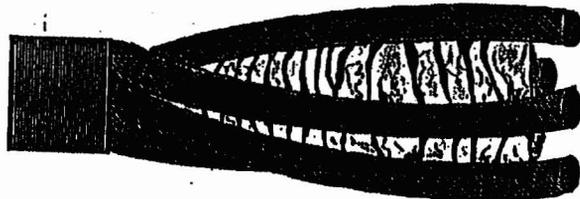


図-3. 8 No.3 のstrand内部のモルタルのひび割れ

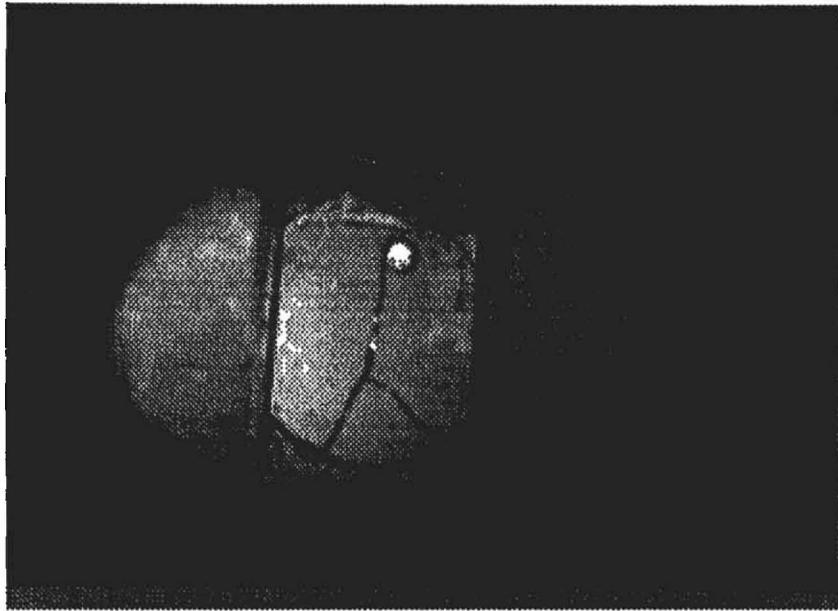


写真-3.4 No. 3 の広口部から見たモルタルのひび割れ

### 3.5 緊張過程における引き抜け挙動とソケット内圧

#### 3.5.1 引き抜け挙動

図-3.9 は緊張力に対する引き抜け量を図示したもので、緊張試験を行った代表的なものについて整理した。素線分解である No.1 の供試体 (○) では緊張力 130tf までは、緊張力に対する引き抜け量はほとんど線形に変化しており、これを超えるとやや引き抜け量のおおきな非線形的な変化を呈するようになってはいるが、最終引き抜け量は 6 mm 程度と小さい。ここでの引き抜け量とは図-3.1 での測定点 a の変化量であり、これにはケーブルの伸び量とケーブルのソケットからの純粋な引き抜け量が合算されたものとなっている。測定点 a での引き抜け量とケーブルの中間部 b で測定されたケーブルの伸び量とはほぼ合致していたことから、素線分解においてはケーブルのソケットからの引き出しはほとんど生じていないことになる。よって、素線分解での緊張力に対する結果はケーブルの伸び量そのものを表していることになる。なお、この試験ではケーブル破断まで緊張力を増加させたが、ケーブルの破断は急激に爆裂したようになるため、変位計が破損してしまった。

これ以降の試験ではケーブルの公称破断強度を最大荷重と定め、ケーブルの破断までは緊張していない。

表-3.2 から明らかなように、ストランド分解ならびにケーブル単体では、ソケット、モルタル、ケーブルなどのすべてに改良を施さない場合には定着力は極めて小さく、ソケットの先端部を補強すると、いずれも 2 倍近い定着力の増加となっている。図にはソケット改良を施した No.3 と No.5 を図示している。ケーブル単体 (No.5 : ▽) では緊張初期から緊張力に対する引き抜け量は非常に大きく、緊張力 78tf で引き抜け量が 30mm を超

えている。ストランド分解 (No.3 :  $\Delta$ ) の初期の引き抜け剛性はケーブル単体とほぼ同様であるが、約 100tf まではこの剛性を維持し、その後やや引き抜け量が大きくなり、ソケットを補強したにも関わらず、先端部が降伏した。これらの2つの例では、前節で示したように中詰め材である無収縮モルタルに大きなひび割れが発生していた。

そこで、中詰めモルタルを高強度モルタルに替えたものが、ストランド分解 (No.8 :  $\blacktriangle$ ) である。高強度モルタルに替えた場合、初期引き抜け剛性がやや向上し、定着力も 140tf まで向上した。しかしながら、ケーブルの公称破断強度まで達することなく、変形流れを起こしてしまった。この最大定着力近傍で繰り返し载荷を行うと、2サイクル目からは、ケーブルの緊張力に対する伸び量と同じような挙動となっていることが判る。このことにより、初期緊張を与えて、除荷した場合には除荷直前の定着状態を維持していることが判る。

次いで、ストランド分解において、物理的な引きくけ抑制を与えるために、ストランドの端部を分解した供試体 (No.9 :  $\blacktriangledown$ ) では、ケーブル伸び量よりはやや大きな引き抜けとなるが、引き抜け量も小さく、安定した変化となっている。ここでの最大緊張力は公称

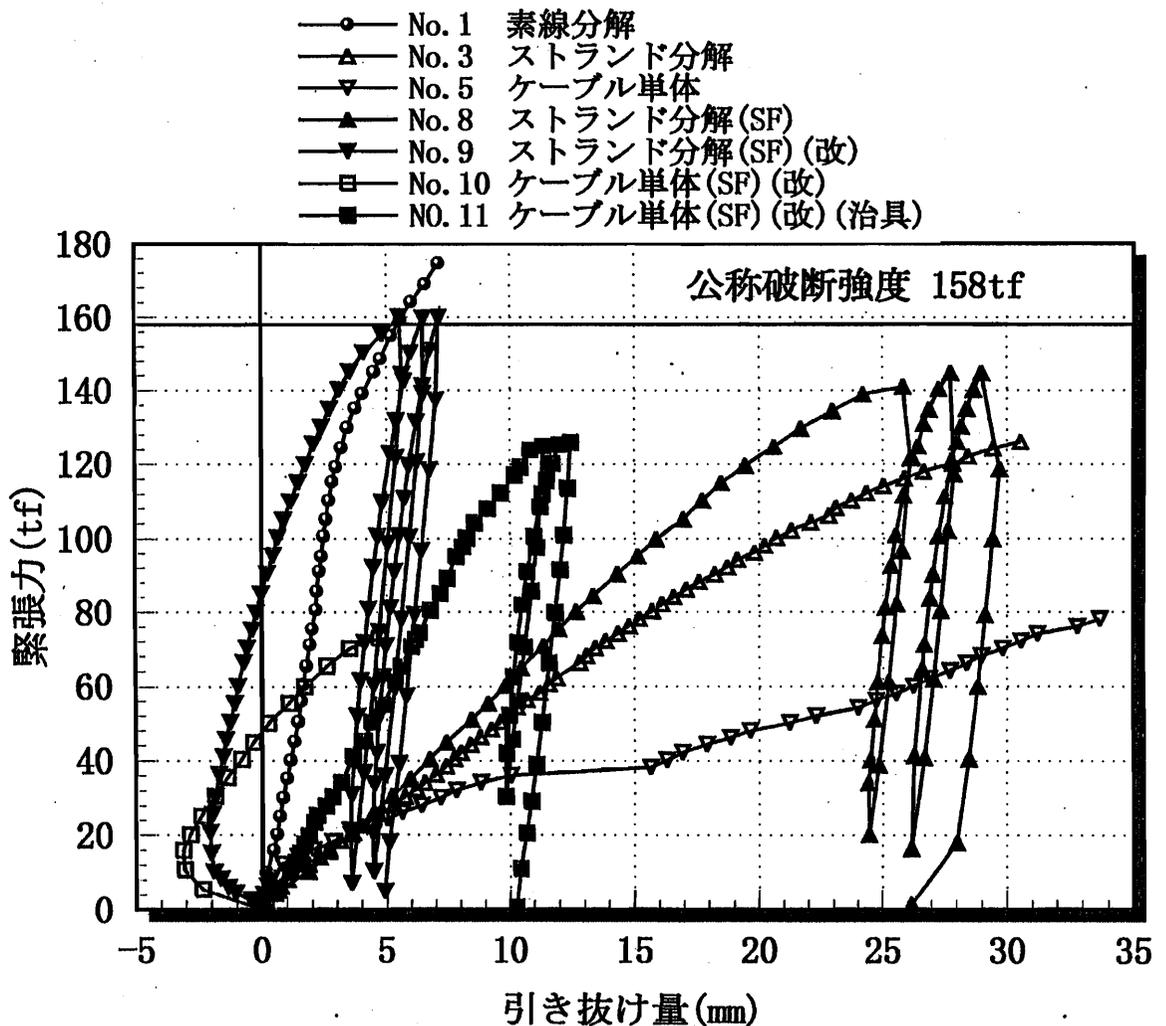


図-3.9 緊張力-引き抜け量の関係

破断強度に達したため、緊張力の増加を中断したものである。2サイクル目からは供試体 No. 8 と同様に、ケーブルの伸び量と同じ挙動となっている。最大緊張力での繰り返し緊張に対する引き抜けは No.8 よりは大きく低下するものの、漸増崩壊を示すような挙動を呈している。

ストランド分解でストランドの端部を一部分解すれば、ストランド分解にても素線分解と同様に、ケーブルの公称破断強度まで緊張力を維持できた。そこで、ケーブル単体にも同じ処置を施したものが、供試体 No.10 (□) である。引き抜け剛性は No.3 に比べれば、2 倍程度向上したが、定着力はほとんど増加していない。そこで、ケーブルの分解された全部に円盤治具を取り付けて、抵抗機能を増加させたのが、供試体 No.11 である。この供試体の引き抜け剛性および定着力は、素線分解 No.1 ならびにストランド分解 No.9 には及ばないものの顕著に増加したが、その定着力はケーブル破断強度を維持するまでには到達していない。しかしながら、定着力 124tf はこのケーブルの使用荷重 50tf を大きく上回るものである。

### 3.5.2 ソケット内圧

緊張力増加によるケーブルの引き抜け挙動を明確にするには、ケーブルの引き抜け量の測定に加えて、モルタルのソケット内部での動きを把握することも重要である。ソケットに充填されたモルタルがケーブルの引き抜けに伴って先端部へ引き込まれれば、モルタルのくさび効果によるソケットの内圧が変化するものと考えられる。ソケットの内圧を測定するために、本実験ではソケットの外部表面に2方向ひずみゲージを貼付し、得られた外部表面ひずみから厚肉円筒理論<sup>15)、16)</sup>を用いて、ソケット内面が受ける圧力(内圧)を換算した。

ひずみゲージは緊張方向には、先端から 5cm、15cm、25cm の位置に貼付し、これらを各々「先端部」、「中間部」、「広口部」と称することにする。

図-3.10 は各供試体のほぼ最終定着力時の内圧分布を示したものである。

素線分解 (No.1 : ○) では広口部から先端部へと内圧は順次大きくなっている。これは、ケーブルが素線単位に細かく分散して、素線を個々に一様にモルタルが包んでいるので、モルタルはケーブルと一緒に引き込まれ、くさび効果により先端部がより高い内圧を示したのと考えられる。そのため、定着力は他の供試体よりも大きいにも関わらず、内圧は全体的には低い。

ソケットに補強を施したケーブル単体 (No.5 : ▽) では中間部ならびに広口部の内圧はほとんど上昇しておらず、先端部のみに内圧が集中している。これは、ケーブルとソケットの空間の広い部分ではケーブルとモルタル間の付着が切れ、先端部のみがケーブルとモルタルで抵抗したものである。

ソケットを補強し、高強度モルタルを使用したストランド分解 (No.8 : ▲) では、中間部に内圧が集中している。これは広口部におけるストランドで囲まれた断面内の円を境

に外部モルタルと内部モルタルの縁が切れ、それらが中央部へと引き込まれ、中間部で緊張力を維持したものと考えられる。以後の No.9、No.10、No.11 にも同様な傾向がみられるが、これらの3つの供試体では広口部付近のストランドおよびケーブルに一部分解による広がりがあり、さらに No.11 では円盤治具も施しているために、広口部の内圧も緊張力の増加とともに上昇している。このような物理的な抑制処置を施すことにより、くさび効果が全体的に派生したと思われる。なお、No.8 以降の先端部補強材はすべて No.5 に比べて大きくなっており、しかもソケットと補強材の結合は円周方向に数点のスポット溶接であったので、内圧を中実に表面に伝達していない可能性がある。

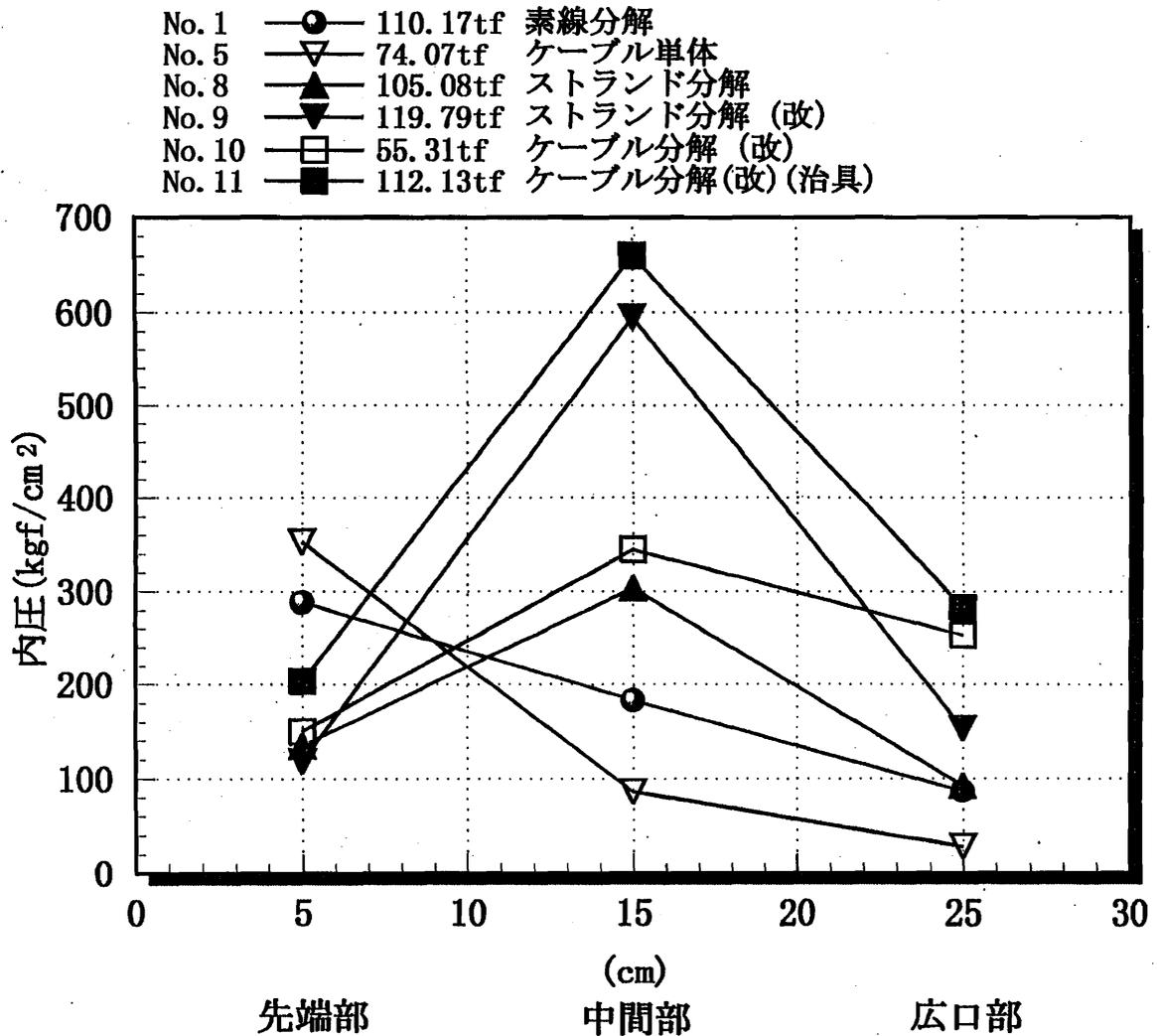


図-3.10 ソケットの内圧分布

### 3.6 一定荷重試験

前節までは漸増緊張試験による試験結果について考察してきたが、ケーブルの使用は設置後、一定の張力下で使用される。ここでは、ソケット改良と高強度モルタルを使用したときのストランド分解 (No.12) について、一定の張力下で数日放置し、そのときの引き抜け挙動について検討した。

荷重方法は油圧ジャッキで緊張した後、ゲビンデスターブにて荷重を保持する方法を採用した。一定の緊張力は、50tf、70tf、90tf、110tf、120tfの5パターンである。

図-3.11 はそのときの緊張力に対する引き抜け量を示したもので、比較のため、同一モデルである No.8 の漸増荷重も付加している。図から明らかなように、A~Eが一定緊張力を維持した荷重箇所であるが、その荷重から一度荷重を低減して再荷重しても、No.8 を大きな差異は認められない。図-3.12 は各一定荷重下での引き抜け量を示したものであるが、どの緊張力においても引き抜け量の変動は観られない。

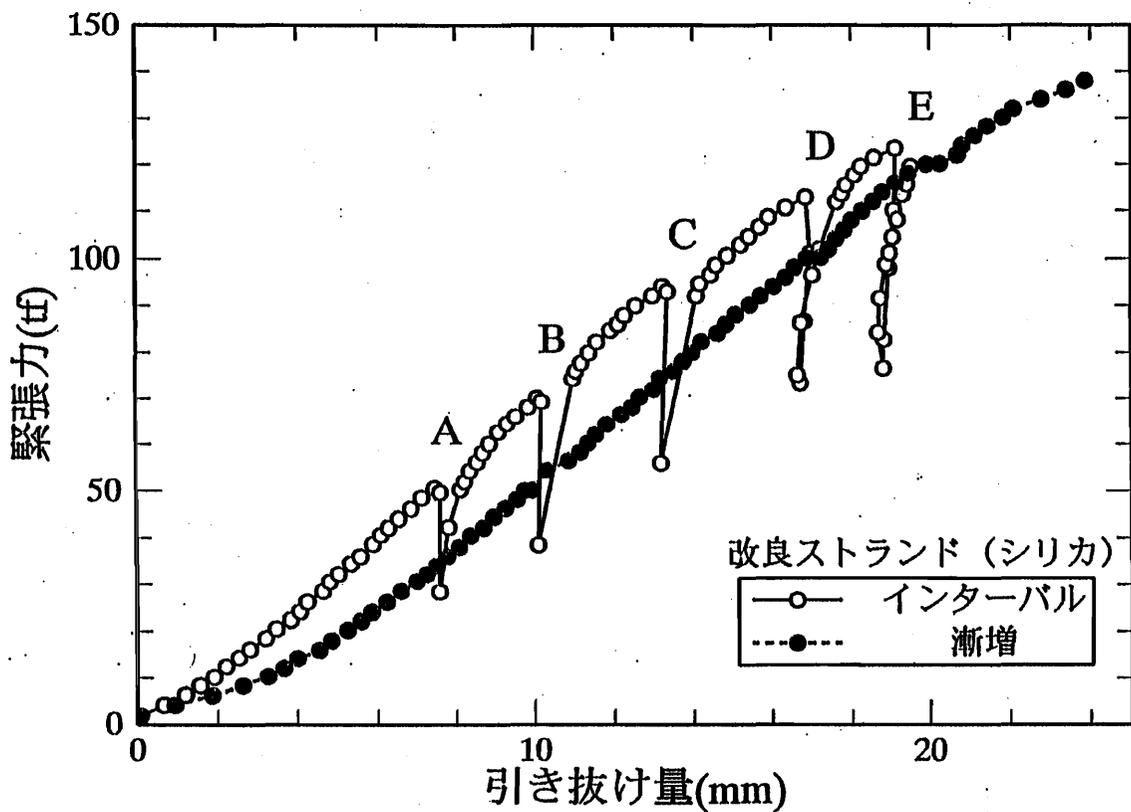


図-3.11 一定荷重試験での No.8 と No.12 の比較

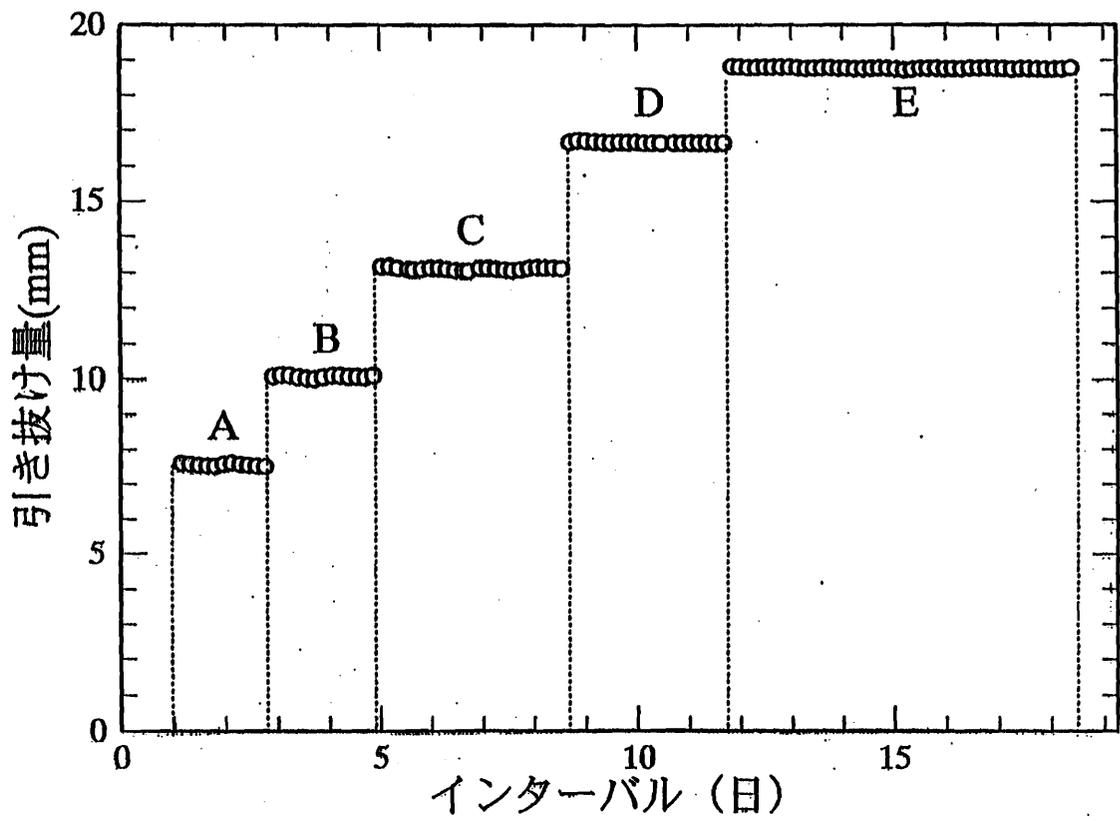


図-3. 12 No.12 のインターバル時の引き抜け量

### 3.7 結語

本章では、円錐形ソケットのケーブル定着法の簡易化を目的に、中詰め材を従来の亜鉛銅合金から取り扱いが簡単なモルタルに替え、ソケット内部のケーブルの設置状況も変化させ、ここの適用性を緊張試験により考察してきた。

本章で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 素線分解では通常は無収縮モルタルを中詰め材に適用しても、十分な定着を維持できる。
- (2) スtrand分解では、中詰め材に高強度モルタルを使用し、ソケットの先端部の補強を施したうえに、strandの端部を一部素線に分解すれば、ケーブルの公称破断強度まで定着を維持できる。
- (3) ケーブル単体では、中詰め材に高強度モルタルを使用し、ソケットの先端部の補強を施したうえに、ケーブルの端部を一部素線に分解し、さらに固定治具を設置すれば、使用荷重の2倍強の定着力は有するものの、ケーブル破断強度までは維持できない。
- (4) 初期荷重を施しておれば、2サイクル目からは初期荷重時のような引き抜けは生じずにケーブルの伸び程度の変化となる。
- (5) ソケットの補強は大きな引き抜き抑制となる。
- (6) ソケットに注入された高強度モルタルは、水分発散が大きく、材料試験での気中養生を下回る圧縮強度となる。

## 第4章 結論

本報告は円錐形ソケットによるケーブル定着法の簡易化を目的としたもので、まず円錐形ソケットの中詰め材を従来の亜鉛銅合金から安価で作業しやすい無収縮モルタルに替えることにより、ソケットへの中詰め材の充填法の簡易化を行い、次いでソケット内部でのケーブルの分解状態も省力化するような方法についても検討を行った。

ソケット内部でのケーブルを亜鉛銅合金の場合と同様に素線分解すれば、中詰め材として通常の無収縮モルタルの適用も可能となったが、ソケット内部のケーブルの分解の仕方によっては、モルタル強度の不足が一因で十分な定着を維持できないことが明らかとなった。そこで、本報告ではシリカフェームによる内部モルタルの高強度化の検討も並行した。このとき、内部モルタルはソケットにポンプ圧入されるので、流動性も考慮する必要がある、流動性の確保には高性能減水剤を使用した。本研究で得られた流動性を有する高強度モルタルは、ソケットの中詰め材としてばかりでなく、種々のポンプ圧入され、高強度が要求されるグラウト材、あるいは補修用モルタルとしても適用できるを考えれば、その有用性は高いものとなる。

本研究では得られた結論を要約すると、以下のようになる。

### 【流動性を有する高強度モルタルの配合と材料特性】

本章で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

1. 練り混ぜ方法は高性能減水剤を混入後、20秒程度ねかせ、その後に最終練り混ぜを行うと、安定した流動性と強度が得られる。
2. シリカフェームも流動性の向上に寄与しており、ポンプ圧入に必要な流動性の確保には結合材に対して、高性能減水剤を3%以上、シリカフェームを5%以上混入すればよい。
3. 気中養生されたモルタルの圧縮強度は水中養生されたものより低下するが、いずれの場合でも、 $800\text{kgf/cm}^2$ 以上の圧縮強度は得られる。
4. 弾性係数は圧縮強度と強い相関があり、水中養生の弾性係数は気中養生よりもやや大きくなる。
5. ポアソン比と（割裂強度／圧縮強度）は圧縮強度とはほぼ無関係で一定となり、2つの養生状態ではやや異なるが、それらの差異は少ない。

### 【ケーブル定着法の開発】

6. 素線分解では通常の無収縮モルタルを中詰め材に適用しても、十分な定着を維持できる。
7. スtrand分解では、中詰め材に高強度モルタルを使用し、ソケットの先端部の補強を施したうえに、Strandの端部を一部素線に分解すれば、ケーブルの公称破断強度まで定着を維持できる。

8. ケーブル単体では中詰め材に高強度モルタルを使用し、ソケットの先端部の補強を施したうえに、ケーブルの端部を一部素線に分解し、さらに固定治具を設置すれば、使用荷重の2倍強の定着力は有するものの、ケーブル破断強度までは維持できない。
9. 初期荷重を施しておれば、2サイクル目からは初期荷重時のような引き抜けは生じずにケーブルの伸び程度の変化となる。
10. ソケットの補強は大きな引き抜き抑制となる。

## 【 参考文献 】

- 1) 菊池巧、渡辺貴久、羽藤勝彦、小林岳：新村 12 号橋桁架設における P C T の変形挙動について、土木構造・材料論文集、第 11 号、1995
- 2) Komura,T.,et al.: Study into Mechanical Properties and Design Method of Large Cable Sockets, Proc. of JSCE, No.422/I-14,pp.251-262,1990
- 3) (株)小野田：セメント系無収縮グラウト材・ユーロックス、製品パンフレット
- 4) 原田哲夫、松田浩：静的破砕剤を用いたケミカルジャッキによる P C 部材の接合法、コンクリート工学年次論文報告集、第 14 巻、第 1 号、pp.177-182、1992
- 5) 今井富士夫、松本公秀 他：無収縮モルタルによるケーブル定着に関する基礎的実験、コンクリート工学年次論文報告集、第 18 巻、第 2 号、pp.533-538、1996
- 6) 堺 孝司(主査)：シリカフェームを用いたコンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー、第 81 号、pp.89-98、1997
- 7) 白石哲、今井富士夫、堤 博、赤木正見：シリカフェームによる高強度モルタルの配合と材料特性、土木学会西部支部研究発表講演集、第 5 部門、pp.810-811、1998
- 8) 堤 博：流動性を有する高強度モルタルの配合と材料特性、宮崎大学卒業論文、1998
- 9) 生崎卓也：気中養生による無収縮モルタルの高強度化への検討、宮崎大学卒業論文、1999
- 10) 今井富士夫、白石哲、赤木正見、中澤隆雄：高強度モルタルを注入したソケットに定着されたケーブルの引き抜け抵抗、コンクリート工学年次論文報告集、第 20 巻、第 3 号、pp.193-198、1998
- 11) 白石哲、今井富士夫、赤木正見、中澤隆雄：円錐形ソケット内部でのケーブル定着法と引き抜け抵抗、土木学会第 63 回年次学術講演概要集、第 5 部門、pp.986-987、1998
- 12) 小林一輔：最新コンクリート工学、第 2 版、森北出版(株)、pp.67-78、1988
- 13) 大和竹史：鉄筋コンクリート構造、共立出版(株)、p.21、1994
- 14) 武田均、小林敏彦、西利明：フレキシブル鉄筋の定着性能、土木学会第 52 回年次学術講演概要集、第 5 部、pp.340-341、1997
- 15) 入江敏博、山田元：機械工学基礎講座・工業力学、今泉誠文社、1992 河田雄一：材料力学—基礎と強度設計—(改訂版)、裳華房、1992
- 16) 湯浅亀一：材料力学公式集、コロナ社、pp.189-199、1980