

論文 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き抵抗

今井富士夫*1・白石 哲*2・赤木正見*3・中澤隆雄*1

要旨：本論文ではまず、ソケットの中詰め材としての高強度モルタルの配合を検討するために、通常のグラウトモルタルとシリカフェームならびに高性能減水材による圧縮強度と流動性に着目した配合試験を行い、ポンプ圧入が可能で高強度を有するソケット中詰め材に適用できるような配合を見出した。次いで、ソケット内部のケーブルを粗く分解したストランド分解の場合でもストランド先端の1部をさらに素線に分解すれば、十分にケーブルの公称破断強度まで小さな引き抜きで定着が維持できることを明らかにした。

キーワード：ケーブル定着、高強度モルタル、流動性、配合、引き抜き試験

1. はじめに

従来のソケットによるケーブル定着では、ソケットの中詰め材として亜鉛銅合金が使用されてきた。亜鉛銅合金はソケットの注入時の温度管理が難しく、熟練工に頼るために施工単価が高価なものとなっている。

本研究では亜鉛銅合金に替わる中詰め材として、PC構造物のグラウトに使用されているモルタルの適用を検討するもので、これまでの研究から亜鉛銅合金を中詰め材とした場合と同様に、ソケット内部でケーブルを百数本の素線に分解すれば、市販のグラウトモルタルでも十分に適用できることが明らかとなったが、ソケット内部でケーブルを粗く小縄の状態に分解した、すなわちストランド単位に分解した場合には引き抜きが大きく、モルタルにもひびわれが生じ、ケーブルを十分定着できないことも示された¹⁾。そこで、本論文ではまず、シリカフェームによる注入モルタルの高強度化についての配合を流動性も加味した検討を行い、そこで得られた高強度モルタルを使用して、ソケット内部でストランド分解されたケーブルの静的引き抜き試験の結果を報告する。

2. モルタルの高強度化

2.1 配合と練り混ぜ

ここで使用するモルタルはソケットにポンプ圧入するために、高強度化とともに流動性も要求される。ここでのモルタルには市販されているグラウト用の無収縮モルタルを、高強度化にはシリカフェーム（以下 SF と称す）を、流動性を確保するために高性能減水材（以下 SF と称す）を使用した。

モルタルにシリカフェームや高性能減水材を使用した場合の配合は明確になっていないため²⁾、まず流動性を確保するためのこれらの配合について検討を行った。表-1は流動試験での配合を示したもので、表中の無収縮モルタル (SCM) は石灰系膨張剤（以下、膨張剤と称す）とセメントおよび砂が既に混合されているものであり、(セメント+膨張剤)と砂の重量比は1となっている。

(膨張剤+セメント)とシリカフェームから成るものを結合材と考え、この結合材を配合の基準とし、本試験での水結合材比は30%とした。なお、水結合材比の算出にあたっては、高性能減水材の水分70%も考慮して、次式で算定した。

*1 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博(正会員)
 *2 宮崎大学大学院 工学研究科土木環境工学専攻
 *3 宮崎大学技官 工学部土木環境工学科

表-1 配合表

試験体	SP (%)	SF (%)	SP (kg/cm ³)	SF (kg/cm ³)	SCM (kg/cm ³)	W (kg/cm ³)	C+SF (kg/cm ³)	水結合材比(%)
SP 300	3	0	26.6	0.0	1776.0	247.8	888.0	27.9
SP 305		5	28.0	46.7		260.8	934.7	
SP 310		10	29.6	98.7		276.4	986.7	
SP 315		15	31.3	156.7		291.5	1044.7	
SP 320		20	33.3	222.0		309.7	1110.0	
SP 500	5	0	44.4	0.0	1776.0	235.3	888.0	26.5
SP 505		5	46.7	46.7		247.7	934.7	
SP 510		10	49.3	98.7		261.5	986.7	
SP 515		15	52.2	156.7		276.9	1044.7	
SP 520		20	55.5	222.0		294.2	1110.0	
SP 700	7	0	62.2	0.0	1776.0	222.9	888.0	25.1
SP 705		5	65.4	46.7		234.6	934.7	
SP 710		10	69.1	98.7		247.6	986.7	
SP 715		15	73.1	156.7		262.2	1044.7	
SP 720		20	77.7	222.0		278.6	1110.0	

$$\text{水結合材比} = (W + 0.7 \times \text{SP}) / (C + \text{SF})$$

(1)

ここに、W は水を、C は (膨張剤+セメント) を表している。

表にみられるように、本試験では SP に関しては結合材に対して 3~7%、SF は 0~20% と変化させた。練り混ぜは気温、水温ともに 20℃ と一定にし、SP を予め水で 2 倍に薄めておく。まず、SF と無収縮モルタルを混合したものに、SP の希薄で残った水を入れて 30 秒間練り、次に希薄された SP の 1/2 を加えて、さらに 1 分間練る。最後に残りの希薄 SP を加えて 1 分 30 秒練り混ぜた。練り混ぜの合計時間は 3 分である。養生は水中養生とした。

2.2 流動試験

流動試験には J14 ロートを使用した。図-1 は流動試験の結果を示したものである。

図から明らかなように、SF も流動化に寄与するが、SF の増加により流動性が単純に向上するのではなく、SP のいずれの配合においても SF10%~15% で流動性のピークが見られる。通常の無収縮モルタルでは水結合材比 35% で流下時間を 8±2 秒としていることやこれまでの試験から流下時間は 10 秒前後が適してい

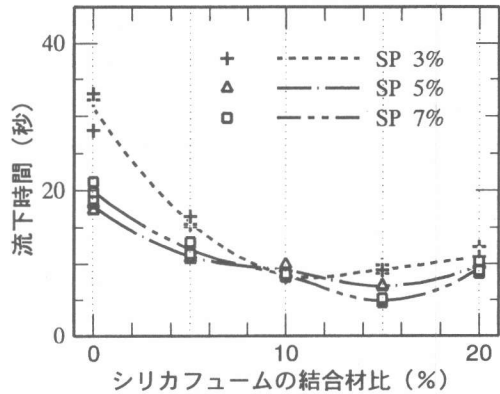


図-1 流動試験

るものと仮定すると、SF0% の場合と試験体 SP305 を除けば、ほとんどの配合が使用できるものと思われる。

2.3 材料特性

流動試験から、材料試験は SF0% のすべてと SP305 を除いたものについて供試体を作成した。図-2 は養生 28 日での圧縮強度を示したものである。データに大きなバラツキが見られるが、これはキャッピングの不完全さと載荷時の偏心によるものと思われる。図から明らかなように、SP を 3% 混入した場合には SF すべての場合で 85MPa を越えており、特

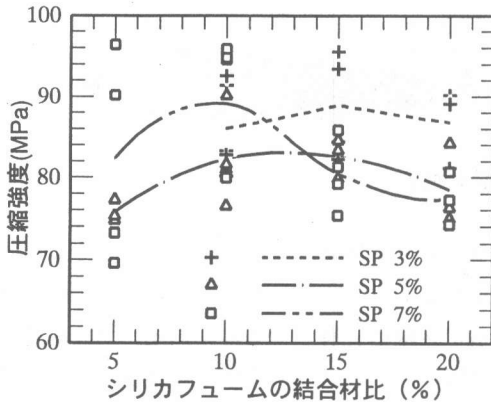


図-2 圧縮強度

にピークを示す SF15%では 90MPa 以上の圧縮強度となっている。SP7%に関しては、強度の変動は大きいですが、ピークの SF10%では 90MPa となっている。SP5%は他の2つの SP に対して小さくなるが、75MPa を越える圧縮強度は発現できるようである。

通常の無収縮モルタル(水結合材比 35%)での圧縮強度がおよそ 50MPa であったのに比べれば、シリカフェームを混入することでモルタルの高強度化は図れていると云えよう。

図-3 は圧縮強度に対する弾性係数を図示したもので、図中の実線はデータからの回帰曲線を示したものである。圧縮強度に対する弾性係数のバラツキは少なく、圧縮強度の増加に伴って弾性係数も上昇している。回帰曲線は相関係数から、圧縮強度に対する弾性係

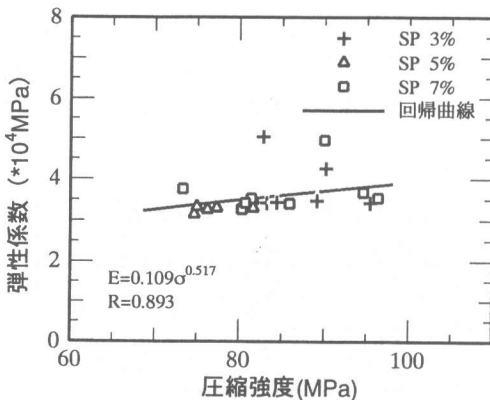


図-3 弾性係数と圧縮強度の関係

表-2 材料特性

圧縮強度 (MPa)	68.63	78.43	88.24	98.04
弾性係数 ($\times 10^4$ MPa)	3.22	3.45	3.67	3.88
ポアソン比	0.21	0.22	0.22	0.22
割裂強度 (MPa)	4.13 (0.060)	4.64 (0.059)	5.14 (0.058)	5.63 (0.057)

数を十分に表現しているものと思われる。

表-2 は弾性係数と同様に、すべての試験体から得られた圧縮強度に対する弾性係数、ポアソン比および割裂強度について整理したものである。表から、弾性係数は圧縮強度の増加とともに上昇変化するが、ポアソン比は 0.22、割裂強度は圧縮強度の 6%程度でほぼ一定となっている。

3. ケーブル定着性能

円錐形ソケットの中詰め材にモルタルを使用し、ソケット内部のケーブルやソケットの状態を種々変化させて、引き抜き試験を実施した。1部は既に参考論文 1)に発表しているが、今回の実験との比較検討ために掲載した。

3.1 実験概要と供試体

本実験で使用したケーブルは IWSC JSS 9-1978A 級 1種で 7本ストランド(素線 19本、素線径 3.35mm)から成る $\phi 50$ 、公称破断強度 1.55MN を有するものである。ソケットは図-4 に示すような円錐形ソケットで、図の射影部は先端部に補強を施したものである。

図-5 に緊張試験の概要を示す。左端を固定し、右端を可動端として緊張した。ケーブル

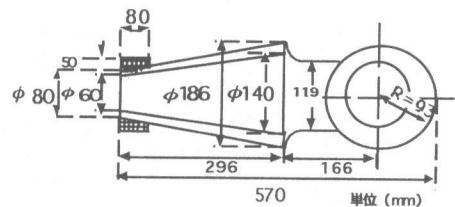


図-4 ソケットの概要

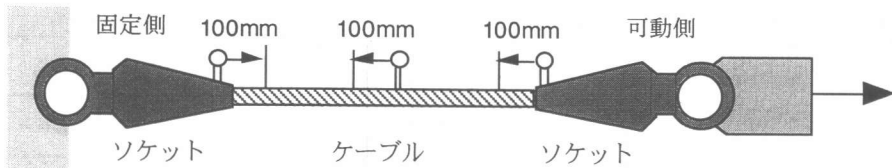


図-5 緊張試験の概要

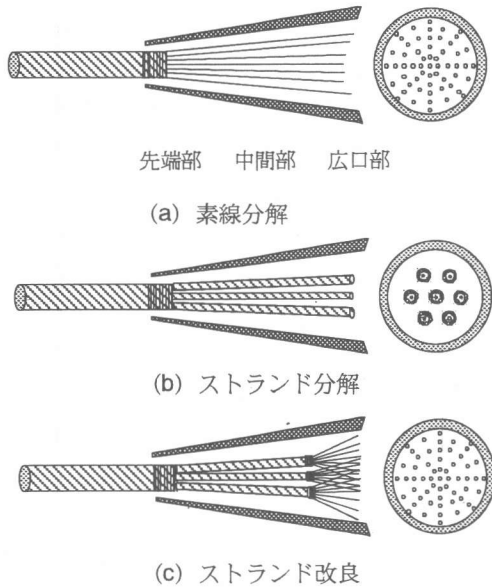


図-6 ソケット内のケーブル

ル本体の伸び量（中央測定部）やソケットからの引き抜け量は図示するように、測定区間100mmの変化を変位計にて測定している。よって、ソケットからの測定変位にはケーブルの引き抜け量に加えて、ケーブル自体の伸び量も計測されているが、本論文ではこれらを総称して、「引き抜け量」と定義する。

ソケット内部のケーブルの状態は図-6に示すように、(a)素線に分解したものの、(b)スト

ランド単位に分解したもの、(c)ストランド分解ではあるが、ソケットの端部の10cmをさらに素線に分解したものである。ストランド分解は、ケーブルを百数本の素線に分解する手間の省力化が目的で、ストランドの端部をさらに素線分解したのは武田らのフレキシブル鉄筋の研究を参考にしたものである³⁾。

3.2 終局状況

表-3は各供試体の終局状態を示したものである。供試体 No.1 から No.3 までは無収縮モルタルをそのまま使用したもので、No.1 と No.2 については既に発表している¹⁾。

No.4 と No.5 がシリカフェームで高強度化されたモルタルを使用したもので、SP3%、SF15%の配合を使用した。圧縮強度が第2章の結果よりもやや低いのは、養生をソケットの注入後の状態と合わせるために、圧縮試験の試験体をビニール袋で密閉した状態で放置したことによるものと思われる。さらに、表中のストランド改良とあるのはストランド先端をさらに素線分解したもので、ソケット補強とはソケットの先端部を補強したことを示すものである。

表中の終局状態で、「引き抜け大」の場合には、引き抜け量が30mmを越えた荷重を終局

表-3 緊張試験結果

ソケット内のケーブル	ソケット補強	シリカ使用	ストランド改良	圧縮強度 (MPa)	終局荷重 (MN)	終局状態
素線分解	無	無	有	45.3	1.71	ケーブル破断
ストランド分解	無	無	無	46.4	0.63	ソケット降伏
	有	無	無	54.6	1.26	引き抜け大
	有	有	無	78.3	1.41	引き抜け大
	有	有	有	72.5	1.60	公称破断到達

荷重とした。終局状態から明らかなように、素線分解した場合やストランドの先端を素線分解すれば、十分に公称破断強度まで定着を維持できることが判る。また、ソケット補強やモルタルの高強度化により定着力は向上するが、公称破断強度までは維持できていない。

3.3 緊張力に対する引き抜け挙動

図-7は緊張力に対するソケットからのケーブルの引き抜け量を図示したものである。

先の研究¹⁾から、No.1の素線分解における引き抜け量はほぼケーブルの伸びと一致し、引き抜け自体はほとんど生じてはいないことが明らかとなっている。よって、No.1の結果はケーブル自体の伸び挙動をほぼ示すものとして、これとの比較により、ストランド分解について考察する。

No.2では引き抜け量が極端に大きく、さらにソケットの先端部も降伏した。そこで、No.3ではソケットの先端部を補強した結果、緊張力に対する引き抜け量は低減したが、まだ十分とは言えない。また、実験後にモルタルの状況を観察した結果、ストランドに囲まれた内部のモルタルに材軸直角方向ひびわれが数多く確認された。No.4ではモルタルの高強度化による定着力と引き抜け剛度の向上を目的に、ソケットの補強に加えて高強度モルタル

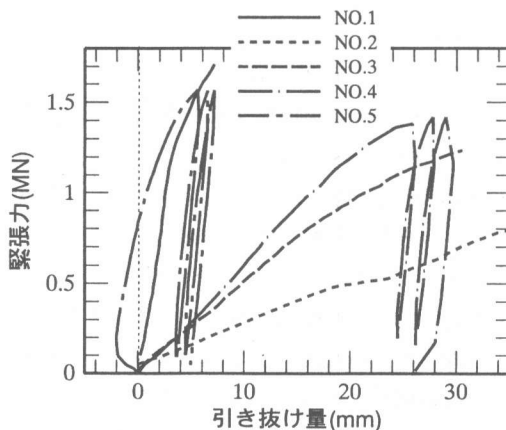


図-7 緊張力-引き抜け量

を使用した。モルタルの強度上昇に伴い、引き抜け剛度の向上は認められるが、いまだ引き抜け量も大きく、定着力もケーブルの公称破断強度以下の緊張力 1.41MN で変形流れが生じて終局に至った。

これらのことから、モルタル引き抜け量の低減はモルタルの高強度化のみでは不十分と云え、ストランドに物理的な抵抗機能を付加する必要があることが判明した。このような観点から、No.5では武田らの研究³⁾を参考にして、ストランド端部の10cmを素線分解した。No.5の緊張力初期で負側に変位しているのは、ケーブルのたるみや絞り回転によるものである。引き抜け剛度はNo.1とほとんど同様なものが得られており、公称破断強度まで定着も維持できている。この供試体でケーブル破断まで緊張しなかったのは、ケーブル破断による測定器の破損を考慮したためである。

No.4とNo.5については、各々の最大緊張力からの繰返し载荷も行った。いずれの場合も2サイクル目からはほとんどNo.1と同等の引き抜け剛度となっている。すなわち、使用荷重以上の緊張力を予め与えておけば、No.4でも適用できるのではないかと考えられる。

3.4 内圧分布

図-8はソケット外面に添付したひずみから厚肉円筒理論⁴⁾を用いて、モルタルからソケットが受ける内圧をNo.4とNo.5について、図示したものである。図の横軸はソケット先端からの測定位置を示している。いずれの場合も緊張初期には中間部に内圧のピークが観られるが、No.4では緊張力の増加に伴い、先端部の内圧が急増し、中間部と広口部の内圧はほとんど変化していない。

No.5では、緊張力の増加に対して、中間部が大きく増大し、広口部も増大する傾向があるが、先端部はほとんど変化していない。すなわち、ストランドの端部を分解すれば、物理的な抵抗機能が生じて、ソケット後半部の

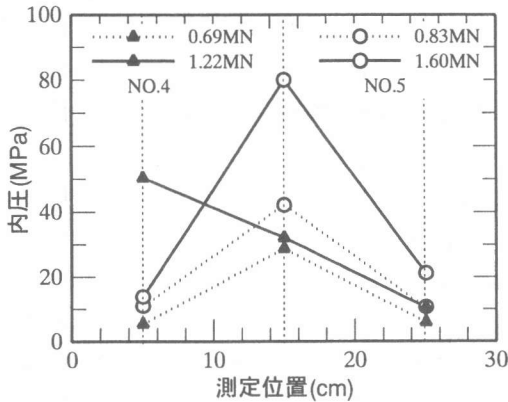


図-8 ソケット内圧

モルタルでケーブルの引き抜きに抵抗していることになる。これに対して、単純なストランド分解ではケーブルの滑りにより、ソケット先端部で抵抗するため、十分な定着維持できないものと思われる。

3.5 モルタルの内部ひずみ

図-9はNo.4とNo.5のソケット中間部モルタルの材軸方向ひずみを埋込型ひずみゲージにて測定した結果を示したものである。いずれも可動側ソケットのモルタルのひずみが固定側モルタルのそれに比べて大きくなっている。No.4については可動側では0.4MN近傍でひずみが急変し、固定側では1.0MNでひずみに流れ現象が生じている。実験終了後に

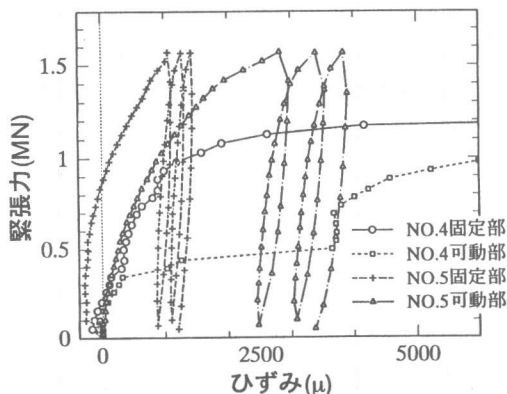


図-9 モルタルの材軸ひずみ

内部モルタルについて観察すると、通常は無収縮モルタルに比べてひずみ増加は激減するが、広口部から10cm程度までに細かな材軸直角方向ひびわれが生じていた。No.5では可動側の引張ひずみは4000 μ にも達しているが、内部モルタルのひびわれは軽微であり、素線分解の場合¹⁾と同様に内部モルタルはほぼ健全であったと云えよう。

4. あとがき

本論文では、高強度モルタルの配合を検討するとともに、ケーブル定着性能を確認する緊張試験を行った。本論文での結果を要約すると、以下ようになる。

- 高強度モルタルの配合試験と材料試験から、
- (1)流動性はSF5%以上でSP3%以上混入すれば、確保できる。
 - (2)圧縮強度はSP3%が最適で、SF15%では90MPaを発現できる。

ケーブルの定着性能については、

- (3)ストランドの端部の一部を素線分解すれば、安定した定着能が期待できる。
- (4)モルタルの高強度化により、ひびわれが大幅に低減でき、初期緊張を与えると、単純なストランド分解でも使用は可能となる。

参考文献

- 1)今井富士夫 他3名：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)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
- 3)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回年次学術講概集，V-170，pp.340-341，1997
- 4)湯浅亀一：材料力学公式集，コロナ社，pp.189-199，1980