

論文 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

今井富士夫*1・松本公秀*2・大神龍馬*3・中澤隆雄*4

要旨：本研究はケーブルソケットの中詰め材として、従来の亜鉛系合金に比べて取り扱いが簡単な無収縮モルタルの適用性を実験的に検討したものである。本実験では公称破断強度 1.55MNを有するφ50、7×19のケーブルを使用した。ソケット内部でケーブルを133本の素線に分解した場合には、無収縮モルタルでも十分に適用できることが明らかとなった。また、ケーブルの分解の手間を省くような、ストランド分解やケーブル本体をソケット内に挿入したものについては現状での適用は困難であるが、ソケットの改良などで耐荷力の向上が図れることも示された。

キーワード：無収縮モルタル、ソケット、中詰め材、ケーブル、定着

1. はじめに

橋梁の架設工法の1つにケーブルエレクション工法がある。この工法の主ケーブル間の接合には円錐形ソケットが使用されており、一般にこのようなソケットの中詰め材には亜鉛系合金が使用されている[1]。亜鉛系合金は注入時の温度管理が煩わしいために特殊な技術者に頼る必要があるなど、利便性に欠ける欠点を有している。

本研究は亜鉛系合金に代わる中詰め材として、取り扱いが比較的簡単な無収縮モルタルの適用を検討したものである。ここで使用した無収縮モルタルはグラウト材として市販されているもので、①安価で、②ハンドミキサーで簡単に練り混ぜることができ、③流動性も高く、④40MPa以上の高い強度が得られるなどの利点を有している。本論文では中詰め材としての無収縮モルタルの有用性を検討するための基礎的な実験として、静的引張試験を行った結果を報告する。

2. 実験概要

実験装置を模式的に示すと図-1のようになる。ケーブルの両端に無収縮モルタルを充填した円錐形ソケットを設置し、一端のソケットをアンカーフレームに固定して、他端のソケットを油圧ジャッキにて緊張した。本実験での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工法で実際に使用されている公称破断強度1.55MNを有するφ50、7×19のケーブル

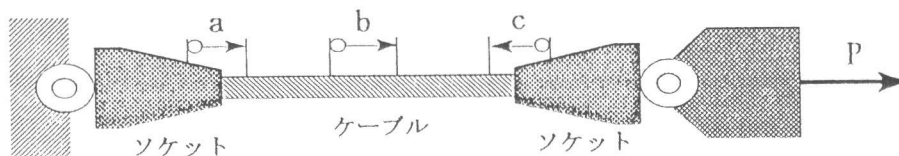


図-1 実験装置の模式図

- * 1 宮崎大学助教授 工学部土木環境工学科、工博（正会員）
- * 2 宮崎大学大学院 工学研究科土木工学専攻
- * 3 日本ピー・シー・テー建設（株）会長
- * 4 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科、工博（正会員）

とTSKソケット強D型の円錐形ソケット(図-2)である。図-2で斜影部は後に述べるソケット改良部を示している。定着機能を検討するために、ソケットからのケーブルの引き抜け量(図-1の測点aとc)やケーブルの伸び量(図-1の測点b)をデジタル変位計(200 μ /mm)で、ソケット外側の円周方向と材軸方向のひずみを直交2軸ゲージによって計測した。ひずみゲージは円周方向には円周の1/3の箇所に3点、材軸方向には先端より5cm、15cm、25cmの位置に貼付した。

供試体は表-1に示すように計9体であり、ソケット内のケーブルを133本の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、ケーブルを分解せずに本体そのものを挿入したものの3通りで、ソケット内のケーブルの状況を図示すると図-3のようになる。なお供試体No.8とNo.9はソケットの先端部を強化した改良型である。

中詰め材は、No.1~No.3では高強度と内部膨張を与えるために膨張剤を混和した無収縮セメントを使用しており、No.4以降の供試体には砂とセメントおよび無収縮混和剤(ユーロックス)が既に混合されているプレユーロックス(無収縮モルタル)を使用した。その配合を表-2に、圧縮強度を表-1に示す。

最近、高膨張セメントによる研究も見受けられるが[2]、高膨張セメントの取り扱いも容易ではないように思われるので、ここでの実験では使用しなかった。

3. 漸増引張試験

図-4はソケット内のケーブルを素線分解し、中詰め材に膨張剤を混和したセメントを用いた供試体No.1~No.3のケーブル

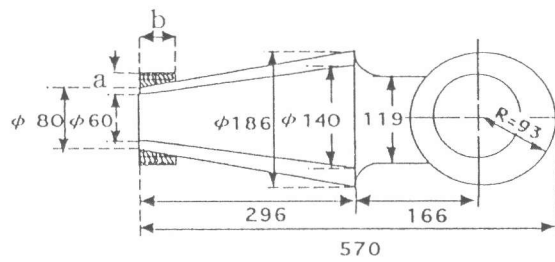


図-2 ソケットの概要

表-1 供試体

供試体番号	ソケット内のケーブル	ソケットの改良	圧縮強度 (MPa)	終局荷重 (MN)	終局状態
No.1	素線分解	非改良	65.1	1.82	ケーブル破断
No.2				1.74	ケーブル破断
No.3			66.8	1.79	ケーブル破断
No.4			45.3	1.71	ケーブル破断
No.5				1.71	ケーブル破断
No.6	ストラント分解	改良	46.4	0.63	ソケット降伏
No.7	非分解			0.31	付着切れ
No.8	ストラント分解		51.2	0.94	ソケット降伏
No.9	非分解	0.77		ソケット降伏	

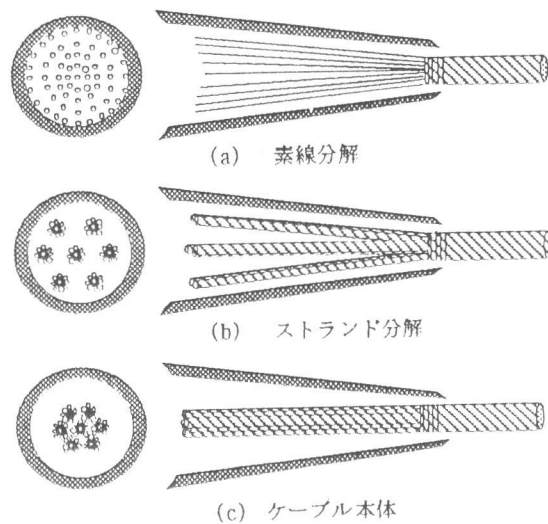


図-3 ソケット内のケーブルの配置状況

表-2 配合表

		No.1-3	No.4-9
単位セメント量	kg/m ³	1318	プレユーロックス
ユーロックス	kg/m ³	90	1875
膨張剤 (オクタエキスパン)	kg/m ³	146	無
単位水量	kg/m ³	146	333
水結合材比	%	30	35.5

の伸びやケーブルのソケットからの引き抜けなどの変動量を示したものである。変動量の測定にはケーブルバンドにて固定された治具を使用した。緊張力増加に伴うケーブルの捻りによる捻れの影響が生じたため、低い荷重では変動量にバラツキが生じている。

図から明らかなように、供試体No. 1では1.2MNから1.4MNの緊張力の増加区間で、供試体No. 2では緊張力0.4MNから0.7MNの区間で固定側変位に急増する現象

が見受けられるが、その後の緊張力増加に対しては緩やかな変動に戻っている。この変動急変は中詰め材の圧縮強度を65MPaとしてケーブルの全体の付着強度を換算する[3]と約0.76MNとなるので、素線とセメント間の部分的な付着切れによるものと考えられる。これらの部分を除いた全体的な変動はおよそケーブルの伸びの変化と類似しており、緊張力が1.6MNを越えたあたりから両端ならびにケーブルの変動の増分が増加して、ケーブル破断に至った。これらの終局荷重は表-1に示すように公称破断強度を越えるものであった。終局時でのソケット内の状況を確認するために、供試体No. 1のソケットを試験終了後に材軸方向に切断した結果、ソケット内部のセメントにはひびわれや圧壊したような状態は見られず、健全であることが確認された。

以上から明らかなように、ソケット近傍とケーブル中間部の変動が類似していると云う事実はケーブルのソケットからの引き抜けがほとんど生じていないことを示すものである。

ソケット内での引張抵抗は円錐形に打設された内部セメントのくさび効果によるものと思われる。そこで、緊張力に対するセメントからのソケットへの内圧について検討する。実験ではソケットの外側の材軸方向と円周方向のひずみを測定したが、円周ひずみには材軸方向の緊張力によるひずみの影響も含まれている。そこで、内圧による円周ひずみのみを(円周ひずみ+ポアソン比×材軸ひずみ)によって抽出し、厚肉円筒理論[4]の材軸応力を無視した式より内圧を換算した。

図-5に得られた換算内圧を示す。内圧はソケット先端、中央、広口(ソケット後方)の順に大きくなっており、緊張力に

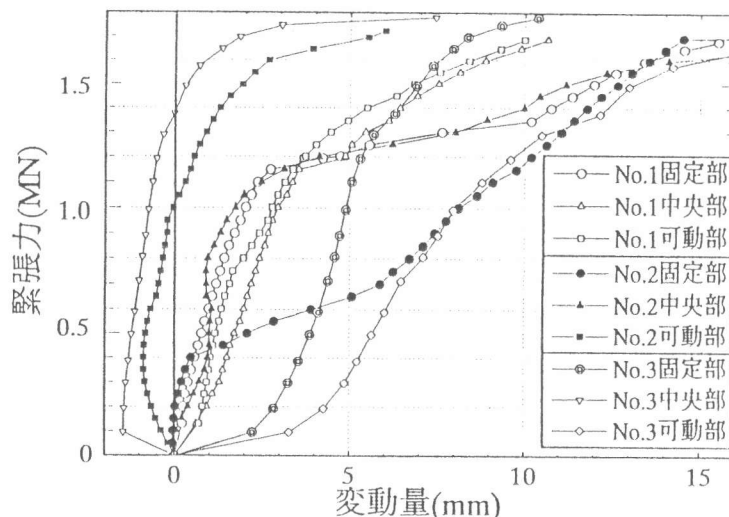


図-4 供試体 No. 1~No. 3 の緊張力と変動量の関係

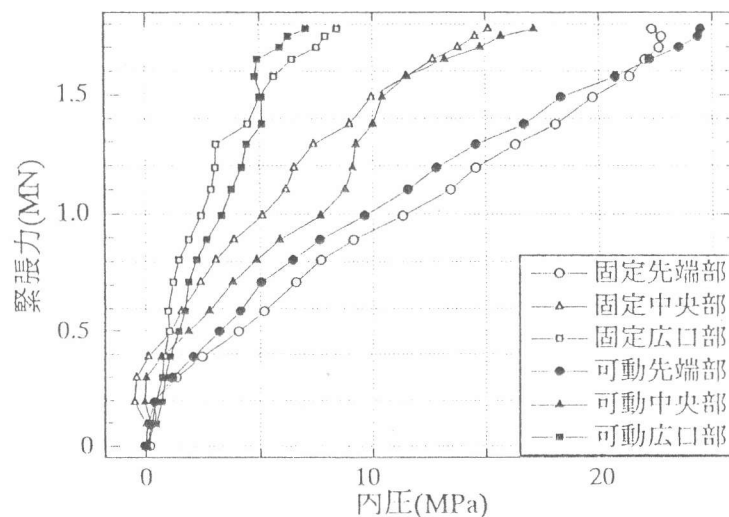


図-5 供試体 No. 3 のソケットの緊張力と内圧の関係

対する抵抗は先端部にいくほど大きいことが判る。しかしながら、ケーブルが塑性化する緊張力の1.6MN以上では、先端の内圧増分は低下し、逆に中央と広口でその増分が増加するようである。

図-6は、ソケット内部のケーブルの設置状態を変化させた各供試体の緊張力に対する固定部の変動量を示したものである。まず、素線分解したものについては、膨張剤の混和あるいはセメントからモルタルへの変化に

関わりなく、ほぼ同一の変動を示しており、表-1に見られるように両者ともにケーブル破断まで緊張力を保持している。この結果から、素線をすべて分解してソケット内にケーブルを定着すれば、通常使用されているグラウト材でも中詰め材として適用可能なことが判明した。

しかしながら、ケーブルを素線まで分解するのは大変な手間がかかる。そこで、省力化のために、ストランド単位で分解したもの、あるいはケーブルを全く分解しない本体を直接ソケットに定着したものについて行った実験が供試体No.6~No.9である。供試体No.6とNo.7は通常のソケットを使用したものである。ケーブル独自の伸び量を図-4の結果を参考にして供試体No.3の変動量と同一であると仮定すると、この2つの供試体にはともに緊張力の初期からケーブルの伸び以上の変動が見られる。これは明らかにケーブルがソケットから引き抜けていることを示すものである。また、ストランド分解したものはソケット内で各ストランドが図-3に示すように先端部から広口部へと末広がりとなっているにも関わらず、その初期の変動量はケーブル本体を挿入したものとほぼ同じになっている。しかしながら、耐荷力に達するまでの挙動には差異がみられ、供試体No.6のストランド分解では緊張力0.4MN以上から変動増分が徐々に大きくなっていき、緊張力がおよそ0.7MNでソケットの先端が降伏した。供試体No.7のケーブル本体を挿入したものでは、緊張力0.3MN近傍でモルタルとケーブルの付着切れが発生し、その後の緊張力増加には抵抗できなかった。これらの終局状況を観察すると、ストランド分解したものではソケット先端からケーブルにモルタルが付着した状態で引き出されており、ケーブル本体を挿入したものはケーブルのみが引き抜け、両者の引き抜け状態にも明らかな差異が認められた。

図-5の結果や文献[1]の報告を参考にすれば、ソケットの引き抜き抵抗はソケット先端部の剛度に依存するようである。そこで、ソケット先端部に圧着できるようにくり抜いたφ120の丸鋼をソケット先端から5cmまでに装着した。図-2の斜影部が剛度補強材である。この補強されたソケットに前述のストランド分解とケーブル本体を挿入した供試体がNo.8とNo.9である。図-6の結果をみれば、初期の引き抜き変動は改良を加えていないソケットの結果とあまり違いはみられないが、ストランド分解したものは緊張力1MNまで緊張力に対する変動はほぼ一様な傾きを維持し、終局時近傍の変動量では無補強ソケットの場合に比べて大きく低減するようである。また、ケーブル本体を挿入したものは、0.4MNで1度付着切れのような挙動を呈すが、再度緊張力に

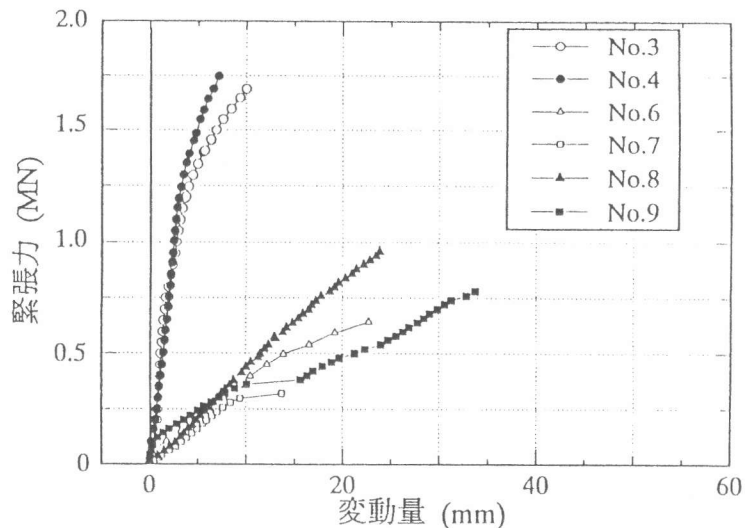


図-6 各供試体の緊張力と固定部の変動量の関係

抵抗を始めている。終局状態はいずれもソケット先端部の降伏であり、引き抜け状況も両者ともケーブルにモルタルが付着したものが引き出されていた。明らかに、ソケット補強によって引き抜き抵抗力は増加したと云えよう。

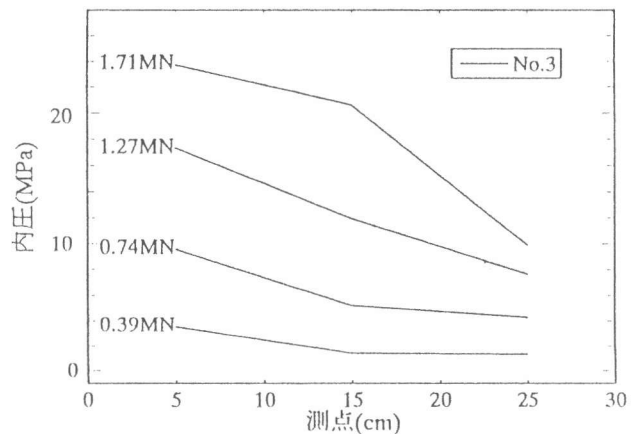
図-7は3種類のタイプの緊張力に対する内圧分布の変化を示したものである。ソケットを補強していない供試体No. 3、No. 6とNo. 8を比較すると、素線分解したものは低緊張力のときには先端部の内圧が高いが、その後一定勾配の分布へと変化し、ケーブル本体が降伏してからは中間部後方の内圧が増加していく傾向にある。ストランド分解では、低緊張力では中間部前方の内圧が高いが、その勾配は素線分解のものほど顕著ではないが、緊張力の増加に伴って先端部の内圧が急増している。ケーブル本体のものでは他の2つの供試体とは異なり、中間部に内圧のピークがみられ、付着切れの0.32MNではさらに先端部の内圧が低下している。

ソケット補強したものについてみると、ストランド分解では低緊張力のときには中間部よりも後方の内圧が高くなり、緊張力の増加に伴って高内圧は前方へと移行している。また、ケーブル本体では付着切れが生じるまでは無補強ソケットの場合と同様であるが、その後は前方に内圧の上昇が生じて、ストランド分解に類似した傾向となっている。

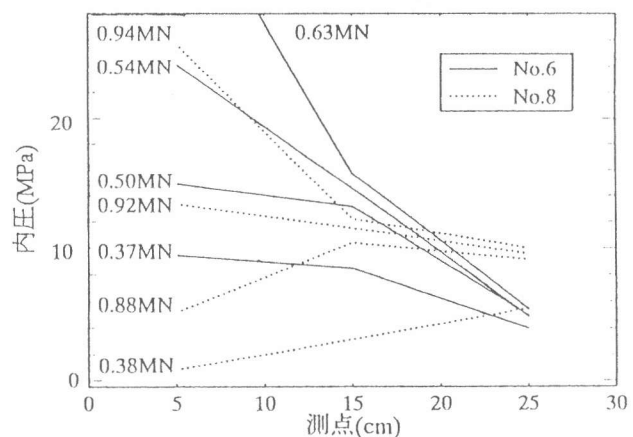
これらの結果から、ストランド分解や補強ソケットでのケーブル本体挿入の供試体での終局状態がモルタルが付着したままケーブルが引き抜けていたことの説明はできている。

4. 一定緊張力による引張試験

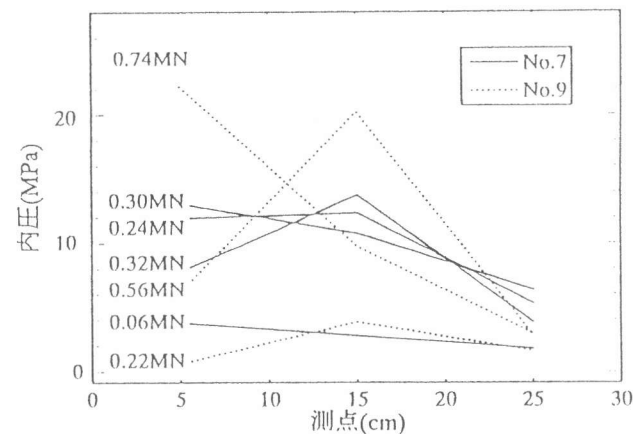
ケーブルを素線に分解してソケットに挿入し、中詰め材には無収縮モルタルを使用すれば、ケーブルの破断強度まで引き抜けることなく緊張力が維持できることが前章で明らかとなった。



(a) 素線分解



(a) ストランド分解



(c) ケーブル本体

図-7 ソケットの内圧分布

ここではケーブルの使用時を想定した一定の緊張力の下でのソケットの維持能力について検討する。

使用時のケーブル張力は破断強度のおよそ1/3程度であるが、ここでは破断強度の約1/2の0.8 MNの緊張力を一定に保ち、2週間測定した。そのときの変位の日時変化を示したものが図-8である。固定部と可動部に载荷初期からケーブルの伸びとは異なった変動量がみられるが、これは図-4に示すように緊張初期のケーブルの絞りなどによるバラツキである。図から明らかのように、試験期間中にはソケットからのケーブルの引き抜けはほとんどみられず、安定した状態となっている。よって、中詰め材を無収縮モルタルとしても、使用荷重にも十分適用できるものと思われる。

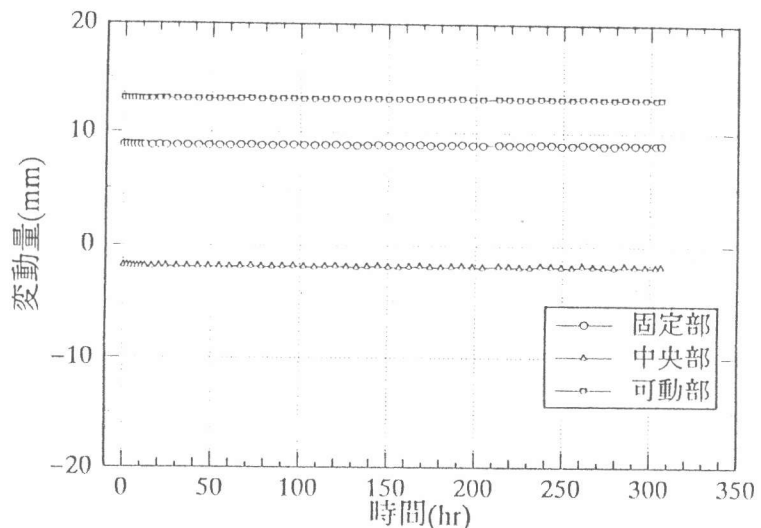


図-8 供試体 No. 3 の一定緊張力下での日時変化

初期のケーブルの絞りなどによるバラツキである。図から明らかのように、試験期間中にはソケットからのケーブルの引き抜けはほとんどみられず、安定した状態となっている。よって、中詰め材を無収縮モルタルとしても、使用荷重にも十分適用できるものと思われる。

5. まとめ

本論文では円錐形ソケットの中詰め材を従来の亜鉛系合金に代わる材料として、安価で取り扱いが簡単な無収縮モルタルを考え、静的引張試験による基礎的な実験からその適用性を検討した。本実験で得られた結果を整理すると以下ようになる。

- (1) 無収縮モルタルは、ソケット内のケーブルを全素線に分解すれば、使用時には変動がなく、緊張力もケーブル破断まで維持できるので、中詰め材として適用できる。
- (2) ケーブルの引き抜き抵抗はソケットの先端部の強度に依存する。
- (3) ソケット内にケーブルをストランド単位に分解したものやケーブル本体を挿入した場合には、現状では使用できないが、ソケット先端部の剛度を増加すれば引き抜き抵抗は向上する。しかしながら、両者の引き抜き量を低減させるにはソケット以外の改良も考える必要がある。

なお、本実験やデータ整理にご協力頂いた日本ピー・シー・テー建設（株）の皆様や本学技官・赤木正見様、土木環境工学科学生・中野道成君には深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 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, Oct. 1990
- [2] 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PC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、1992.6
- [3] 岡田清 他：鉄筋コンクリート工学、鹿島出版会、pp. 10-11、1993
- [4] 湯浅亀一：材料力学公式集、コロナ社、pp. 189-199、1980