

論文

[1038] 高強度グラウトを利用した PC 鋼より線埋込み定着部の定着性能について

正会員 岡田 克也（竹中工務店技術研究所）
 正会員 持田 哲雄（竹中工務店技術研究所）
 正会員 ○柿沢 忠弘（竹中工務店技術研究所）
 正会員 尾高 英雄（黒沢建設技術部）

1. まえがき

後入れ縦方向 PC ストランドの埋込み定着工法（以下、本工法と呼ぶ）は、埋込み定着部の鋼製容器（定着ボトル）内での PC 鋼より線（ストランド）の定着長さ、および注入する高強度グラウトの性状等が安全で確実な定着性能を決定する要因であり、それらの要因が定着部の力学性状に及ぼす影響については既に報告した。¹⁾ そこで今回は定着ボトルの形状、ならびに定着ボトル周囲の補強筋等が、短期および長期的な定着性能に及ぼす影響を検証するための実験を行い、その結果を報告する。あわせて定着ボトル内へのストランドの挿入実験をも行い、本工法の施工性を考察する。

2. 研究計画

本工法は、コンクリート部材中に予めシースと定着ボトルを埋込んでおき、後から圧着グリップを付けたストランドを挿入して、定着ボトルに先端部をグラウトで固化し、縦方向のプレストレス導入を容易にかつ経済的に行なう工法である。¹⁾

定着ボトル内のストランドはグラウト固化の後に緊張すると、先端圧着グリップ部分に大きな支圧応力が発生し、プレストレス導入後に圧着部のグラウトへのめり込みにより、すべりが生じる。今回は、部材中の定着ボトルの形状寸法が、ストランドと定着ボトルの定着性能に及ぼす影響を知る目的で短期載荷実験を、またプレストレス導入よりシース内へのグラウト注入までの間のストランドの挙動を把握するために、長期載荷実験を行なった。

また、定着ボトル内へのストランドの挿入性能は、定着ボトルの大きさのみならずストランドの本数と先端グリップの径と深い関係がある。ストランドが定着ボトル内に正しく挿入されていることは本工法の大前提であるので、定着ボトルの大きさと挿入性との関係も実験で確かめることにした。

3. 定着ボトルの性能実験

コンクリートブロック中に埋め込んだ定着ボトルにストランドを挿入し、グラウトにより固化した試験体において、ストランドを短期および長期的に緊張した場合の、定着ボトル内のストランドならびに定着ボトル自体のすべり、定着ボトルのひずみ、さらにコンクリートブロックのひび割れ性状について測定した。これは、コンクリート中に埋め込んだ状態の定着具の形状寸法とストランドのすべり量との関係を把握して、定着具の短期および長期的な定着性能を確認するためのものである。

3. 1 実験概要

(1) 試験体

定着性能に影響を及ぼす試験体の要因としては、グラウトの強度とストランドの本数、ならびに定着ボトルの形状寸法と周囲の補強方法、さらにコンクリートブロックの寸法とその強度などが挙げられる。本実験では以上の要因のうちストランドを12本、およびコンクリート強度とグラウト強度を一定とし、定着ボトルの形状、支圧板の数、载荷時間をパラメータとした。試験体は図-1に示すように4種類としたが、E12-TL1は2体作製し、短期载荷と長期载荷実験に使用した。ここでコンクリートブロック寸法は告示1320号建設省住指発404号(告示1320号)による試験方法に準拠し、330x330x990mmとした。なおグラウト材としては無収縮グラウトモルタル¹⁾を使用した。コンクリートおよびグラウトの強度は実験開始時(材令7日)で、それぞれ230kg/cm²、および427kg/cm²であった。

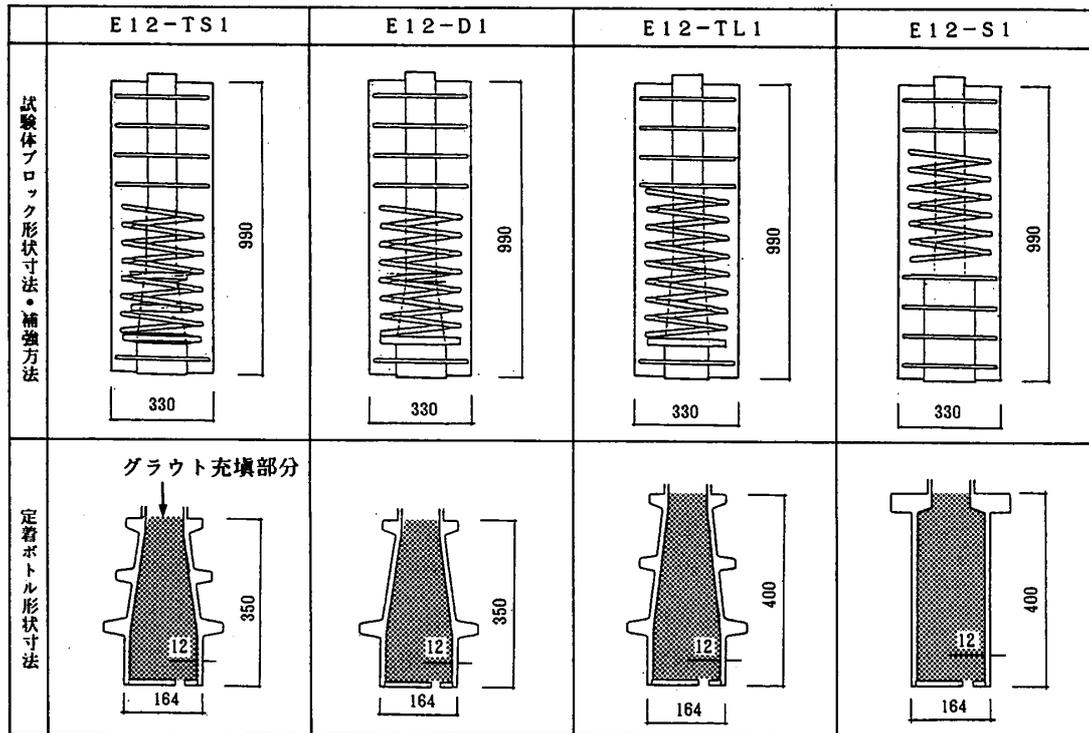


図-1 試験体形状寸法

(単位: mm)

(2) 载荷方法

短期载荷は図-2、図-3に示すようにコンクリートブロックにアンカープレートを設け、告示1320号による载荷段階に基づき、ジャッキを使用してストランドを引張して行なった。また、長期载荷はストランドの降伏荷重 P_y の80%まで载荷し、以後これを約3ヶ月間保持し続けた。ストランドへの载荷方法は短期载荷実験と同じである。

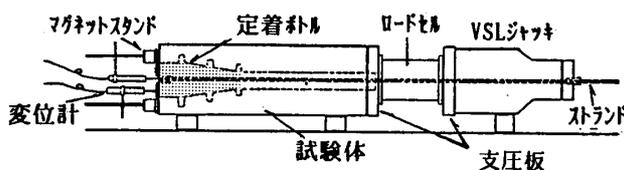


図-2 試験体ストランドの緊張方法

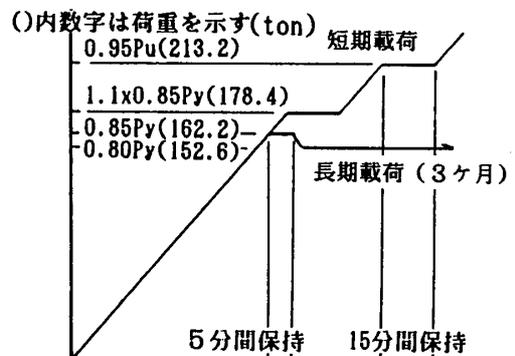


図-3 载荷方法

(3) 測定項目および測定方法

短期載荷実験における測定項目は、ストランドの引張荷重と定着ボトルからの抜け出し量、定着ボトルのめり込み量と表面ひずみ、さらにスパイラル筋、フープ筋のひずみ、およびコンクリートブロックの表面ひずみである。

ストランドの引張荷重はジャッキとコンクリートブロック間のロードセルにより測定し、また定着ボトルのめり込み量、およびストランドの定着ボトルからの抜け出し量は、図-2に示すように、それぞれ試験体端部のコンクリート表面、ならびに定着ボトル底面を基準とした変位計により測定した。さらに定着ボトル、スパイラル筋、フープ筋およびコンクリートブロック表面のひずみはワイヤーストレインゲージを用いて測定した。

長期載荷実験ではストランドの引張力を一定に保持した状態で、ストランドのすべり量を短期載荷実験と同様、定着ボトル底面からの相対変位として変位計により継続的に計測した。

3. 2 実験結果と考察

(1) 定着ボトルのめり込み

図-4には、コンクリートブロック端面に対する定着ボトルのめり込み量と荷重の関係を示す。荷重を保持する直前までは定着ボトルはほとんど移動していないにも拘わらず、E12-S1(円筒型)だけは荷重増大にともないめり込み量が急激に大きくなっている。実際には受圧面積や補強筋量等が変化しているので、単純に形状だけで比較はできないが、くさび型であれば定着ボトルとコンクリート間の付着効果や、支圧板による応力の緩和が期待できるのに対して、円筒型の定着ボトルは上部の支圧板だけで引張力をほとんどすべて負担しなければならず、そのために支圧板上方に高い支圧応力が発生し、めり込みやすくなっていると言えよう。従って、定着ボトルの形状はくさび型の方が有利であると思われる。

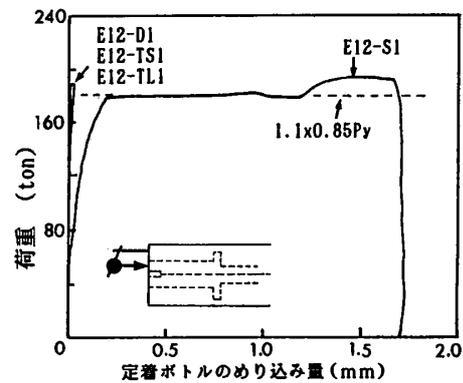


図-4 定着ボトルのめり込み曲線

(2) コンクリートブロックのひび割れ

図-5には、コンクリート表面ひび割れの発生状況を示してあるが、E12-S1(円筒型)のひび割れ発生が他に比べて著しいのは、荷重の増大に伴う定着ボトルのめり込み量が多いことに対応していると考えられる。また、 $1.1 \times 0.85 P_y$ 時のひび割れ幅はどれも 0.1 mm 以下であり、告示1320号の判定基準を満足していた。特にボトルの長いE12-TL1(くさび型)ではひび割れも少なくその幅も小さかった。

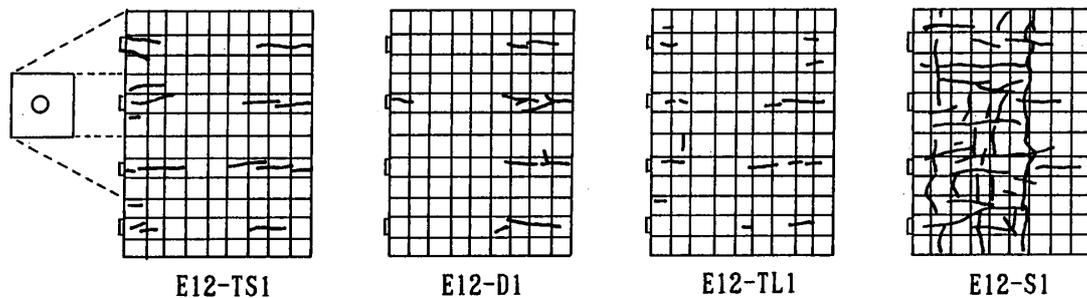


図-5 コンクリート表面のひび割れ状況

(3) ストランドのすべり

定着ボトル底面に対するストランドのすべり量と引張荷重との関係は図-6 示す通りである。いずれの試験体もストランドがすべり始める荷重があり、この時の圧着グリップの支圧応力は定着ボトルが長いE12-TL1 が最も大きくて約2200kg/cm²、その他のものでは1200~1600kg/cm²程度であった。ストランドのすべり量を1.1x0.85Pyの荷重段階で比較すると、ストランドのすべりは定着ボトルが長くて付着長の大きいものほど小さいことがわかる。これはストランドが長いほどグラウトとストランドの付着により荷重を伝達し、圧着グリップの支圧応力を緩和しているためと考えられる。従って、定着ボトルはある程度長いものがよい。

以上の結果をまとめると、定着ボトルのすべりに対しては形状をくさび型にすることが効果的である。また、ストランドの付着長を長くすればグリップのすべりを小さく抑えることが可能であるが、その場合でも定着ボトルの形状は円筒型は避けたほうがよい。

プレストレスの減退量はストランドのすべりだけではなく、定着ボトルのめり込みも起因するため、15分間荷重保持後のコンクリート端部に対するストランドのすべり量を換算すると図-7 のようになる。確実な定着性能を期待するためには、図からも明らかなように付着長の長いくさび型の定着ボトルにすることが有効であると考えてよい。なおくさび型の定着ボトルの支圧板は、2枚と3枚では定着ボトルのめり込みとストランドのすべりに対する影響としては大差がない。

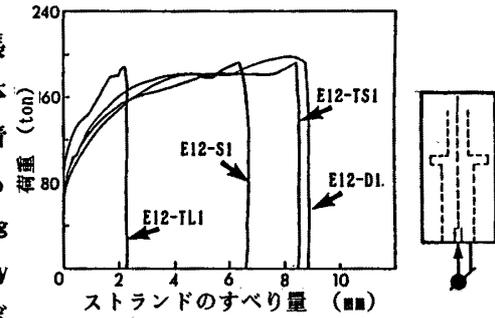


図-6 ストランドのすべり曲線

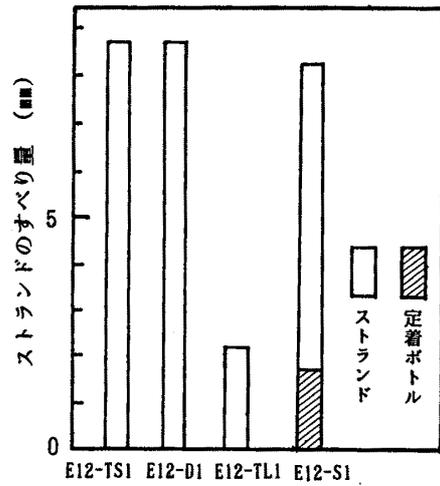


図-7 コンクリート端部に対するストランドの相対すべり量

(4) 定着ボトル、スパイラル筋、フープ筋およびコンクリート表面ひずみ

定着性能の良い試験体(E12-TL1)について、各種ひずみ分布を図-8 に示す。

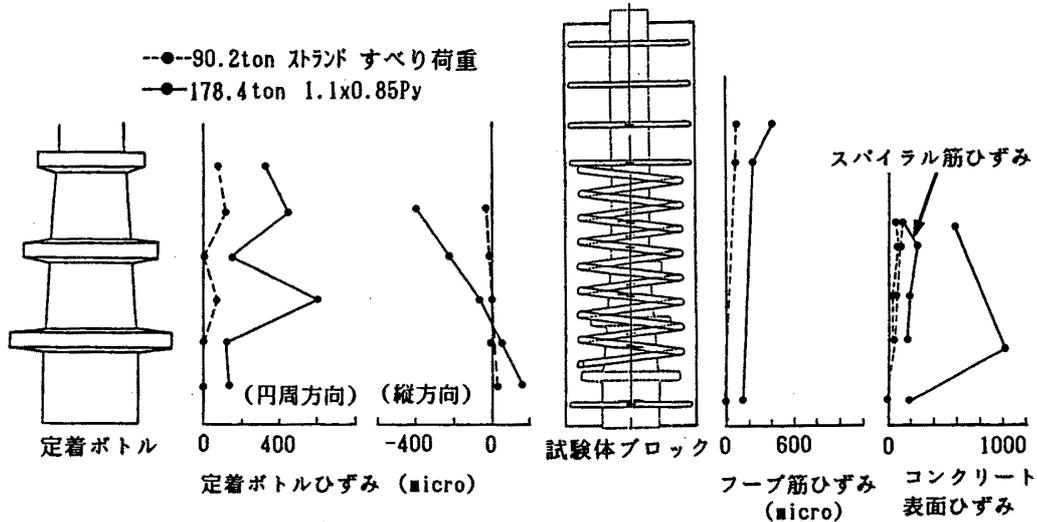


図-8 定着ボトル、スパイラル筋、フープ筋およびコンクリート表面ひずみ分布

定着ボトルを長くし、円錐部の勾配を緩くしたE12-TL1では最大ひずみも他の試験体と比べて小さく、ストランドの引張力が比較的分散してコンクリートブロックに伝達されていると言える。円筒型ボトルのひずみ分布と同様に、くさび型の定着ボトルはその中央で円周ひずみが大きく、また鉛直ひずみはボトル上部の支圧板に近くなるにつれて大きくなっている。しかし円筒型と比べると鉛直方向ひずみは小さく、最大ひずみは約半分となり、ひずみに対してもくさび型は有利であることがわかる。

スパイラル筋は、円筒型ボトルではアンカープレートの支圧応力に対する補強として定着ボトルの上側に、くさび型ボトルでは定着ボトルの円錐部の周囲に設けてある。1.1x0.85Py時のスパイラル筋のひずみはいずれの定着ボトルでも小さく、あまり問題にはならない。また、コンクリートブロックの表面ひずみは1.1x0.85Pyの荷重時にボトル中央部で約 800×10^{-6} 程度であるが、補強としてのフープ筋のひずみは同じ位置で高々 200×10^{-6} であり、あまり有効に作用しているとは言い難い。なお、コンクリートひずみは目視によりひび割れが確認された荷重近くで急に大きくなっている。ひび割れ後は表面ゲージの測定値はコンクリートのひずみに1対1で対応するものではないが、表面の平均的なひずみと関連ある値を示していると考えられよう。

(5) 長期荷重時のストランドのすべり

0.8Pyの引張力を荷重した直後のストランドのすべりはE12-TLで約2mmであったが、その後この荷重を一定に保持し3ヶ月間荷重した時のストランドのすべりと時間との関係を、両対数座標上にプロットしたものが図-9である。10⁻¹日(2~3時間)でストランドのすべり割合に変化が生じているが、ほぼ直線的にすべりが増大しており、プレストレス導入後1週間で約4mmのすべり量の増加が生じる結果となっている。また0.8Pyの引張力荷重時および、この荷重を3ヶ月間保持したときのコンクリートのひび割れ幅は0.04mm以下であり、特に1.1x0.85Pyの荷重段階では0.1mm以下となっており、告示1320号の判定基準を満足している。

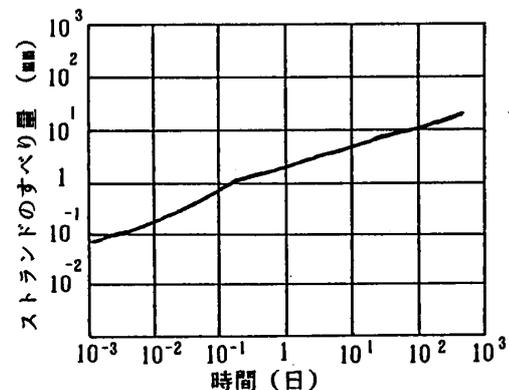


図-9 長期荷重時のストランドのすべり量と時間の関係(E12-TL1)

4. 圧着グリップ付ストランドの挿入実験

4.1 実験概要

施工時に所要本数のストランドがシース中間で引っかからずに挿入でき、かつ定着ボトル中で圧着グリップが積み重ならず所定の位置に納まるようなシースと定着ボトルの寸法を決定するため、圧着グリップの先端形状(キャップの有無)、定着ボトルの内径、長さをパラメータとして挿入実験を行なった。(表-1) 実験装置は図-10に示すような簡易的な定着ボトルにシースを取り付けたものとし、ボトルは内径と長さを変化させることができる。実験には圧着グリップ(φ25.5mm)付ストランド(φ12.7mm)を12本用い、シースの上端より順次挿入してボトル内への入り易さ、ボトル内でのグリップの積み重なり具合について観察し、挿入性を判定した。

4.2 実験結果と考察

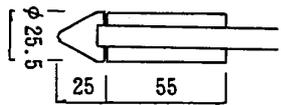
表-2に挿入性実験結果を挿入できたストランドの本数として示す。グリップ先端にキャップを付けなくてもD>130mm, H>200mmであれば所定本数のストランドの挿入は可能であるが、キ

キャップを付ければ挿入性は大幅に改善され、 $D > 120\text{mm}$ でも挿入が可能である。ボトル内の圧着グリップの重なり具合や挿入回数等から総合的に判断すると、 $D \geq 160\text{mm}$ 、 $H \geq 140\text{mm}$ のボトルでもストランド先端にキャップを付けることで挿入性を改善でき、ボトル内でのストランドの納まりも確実にとなると考えられる。また、同様な別の挿入実験により、もしキャップなしのグリップを使用して途中で挿入が困難になったとしても、それ以後をキャップ付きグリップとすれば所定の本数のストランドは挿入可能であることが確かめられた。

表-2 挿入性実験結果

表-1 試験要因

要 因		
使用ストランド	$\phi 12.4$	
使用ストランド 本数	12本	
圧着キャップの有無	有	無
寸法 内/外径 (mm)	67.9/76.3	80.7/89.1
ボトル長さ H (mm)	150 ~ 350	
ボトル径 D (mm)	120, 130, 140, 150	160, 170, 180, 190



キャップ付き圧着グリップ (単位: mm)

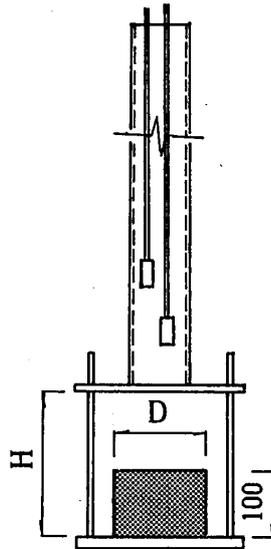


図-10 ストランド挿入性実験装置

①キャップ無し (本数)

H \ D	120	130	140	160	180	200
140				9	10	9
160				11	12	11
180				11	11	12
200	11	12	12	12	12	12
220	12		12	12	12	12

②キャップ有り (本数)

H \ D	120	130	140	160	180	200
140				12	12	11
160			12	12	12	12
180	11	12	12			
200	11	12	12			
220	12	12				

5. まとめ

コンクリート中に埋込まれた定着ボトル内のストランドをグラウトで固化した後に緊張した、定着部の定着性能実験、および圧着グリップ付きストランドの挿入実験より得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1)短期载荷時に定着ボトルをくさび型にすれば、支圧板による応力緩和の影響で定着ボトルはすべりにくくなる。その結果、コンクリートブロック表面のひび割れは少なく、幅も小さくなる傾向にある。
- 2)グラウトとの付着が長いほど、ストランドはすべりにくい。
- 3)くさび型の定着ボトルでは、円周方向ひずみはボトル中央で大きく、鉛直方向ひずみはボトル上方の支圧板に近いほど大きくなる。
- 4)長期载荷時のストランドのすべりは、両対数座標上では载荷時間に比例して増大する。
- 5)定着ボトル内へのストランドの挿入性は、圧着グリップの先端にキャップを付けることで大幅に改善できる。

最後に、本実験を行うにあたり、電気化学工業株式会社の御協力を得たことをここに付記し、謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 岡田克也, 持田哲雄, 柿沢忠弘, 尾高英雄: 高強度グアウトを利用したPC鋼より線埋込み定着部の力学性能試験, 第9回コンクリート工学年次講演会論文集, 1987, pp.507~512