

論文

[1178] 充填形鋼管コンクリート柱の圧入施工実験

中込 昭\*1・江口 清\*2・寺西浩司\*3・西川秀則\*4

1. まえがき

近年、充填形鋼管コンクリート柱は、構造性能、防火性能上の利点が再認識され、高層建築に適した構造形式として注目されている。鋼管コンクリート柱がその性能を發揮するためには、コンクリートが鋼管内に隙間なく充填され、一体となっていることが前提となるが、内ダイヤフラムを用いた場合、一般にダイヤフラム下面でのコンクリート充填不良が懸念される。また、コンクリート硬化後に充填状況の確認ができないという短所もあり、確実に高い充填度の得られる材料・工法を採用する必要がある[1, 2]。

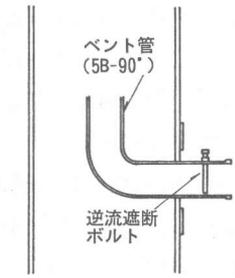
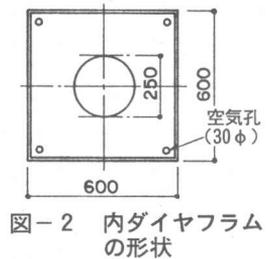
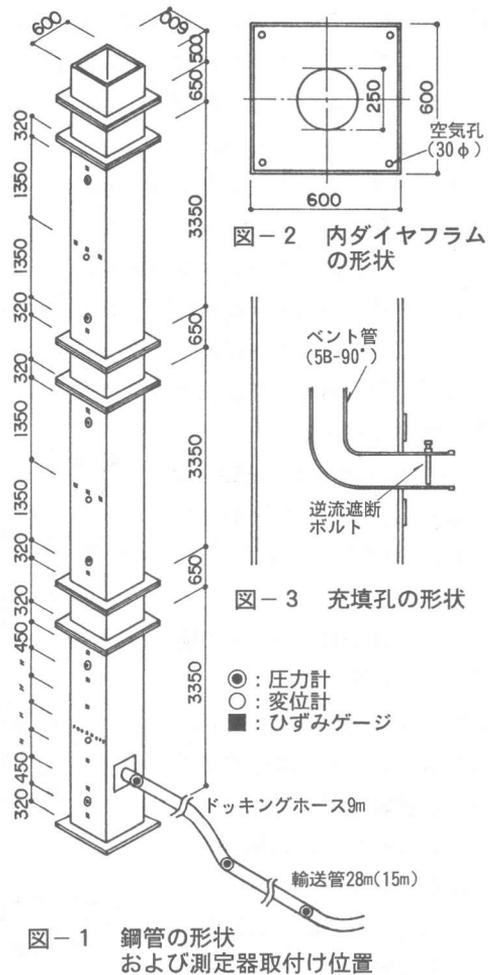
鋼管コンクリート柱の施工方法として、工程、安全、作業性、更には、内部コンクリートの充填性の面からポンプ圧入工法が有利であると考えられる。本報では、高層建築における鋼管柱へのポンプ圧入施工を想定し、使用材料の選定および実施のための諸々の基礎資料の収集を目的として、実大施工実験を行い、充填用コンクリートの調合、鋼管内のコンクリートの充填性、ポンプによる圧送・圧入圧力および鋼管のはらみ等について検討した結果を報告するものである。

2. 実験概要

コンクリートの種類と充填速度を要因として、3 ケースについて実験を実施した。表-1 に実験条件および試験体記号を示す。

表-1 実験条件

号	コンクリートの種類	充填速度
	シリカフェウム混入コンクリート(SF-con)	標準速度(L)
	シリカフェウム混入コンクリート(SF-con)	高速度(H)
	普通コンクリート(N-con)	標準速度(L)



\*1 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室副室長、工修(正会員)

\*2 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室長(正会員)

\*3 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室、工修(正会員)

\*4 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室

## 2.1 試験体鋼管の形状

図-1に試験体鋼管の形状を示す。□-600×600×19の冷間成形角形鋼管を用いた鋼管柱3層1節を試験体とした。接合部には、図-2に示すような250φの円形の開口を有する内ダイヤフラムを取付け、断面の隅角部に空気孔を設けた。図-3に充填孔の形状を示す。コンクリートが上方に向かって吐出するように、鋼管内に直角のベント管を取り付けた。

## 2.2 使用したコンクリート

コンクリートの使用材料を表-2に示す。また、表-3および表-4に、シリカフェームの品質および実験で使用したコンクリートの調合を示す。これらの調合は、流動性および分離抵抗性を高め、ブリージングを抑制することを目的として設定した。N-conは特別な措置をすることなくプラントで製造管理できる範囲とし、水結合材比をやや低めに設定し、目標スランプを $21 \pm 1.5$ cmとした。また、SF-conは鋼管充填用のコンクリートとして上記の性能をさらに向上させたもので、混和材としてシリカフェームを結合材量の10%内割で混入し、目標スランプフローを $500 \pm 50$ mmとした。

コンクリートの練り混ぜには水平二軸強制練りミキサーを用いた。練り混ぜ方法は、N-conでは材料を一括投入後30秒間練り混ぜとし、また、SF-conでは材料投入後60秒間空練りし、水と混和剤を加えた後120秒間練り混ぜとした。

## 2.3 コンクリートの充填方法

図-4に配管計画を示す。輸送管(5B)によりポンプ車から試験体鋼管の付近までの24m(SF-H柱では15m)を水平配管し、9mのドッキングホースにより充填孔と接続し、表-5に示す性能を有するポンプを用いてコンクリートを圧入した。打設速度は実験において標準とした速度L( $20\text{m}^3/\text{hr}$ )と、実施工に対応するためのH( $40\text{m}^3/\text{hr}$ )の2種類とした。

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(比重:3.15)
細骨材	霞ヶ浦産陸砂(比重:2.56, F.M:2.44)
粗骨材	筑波産碎石(比重:2.70, 最大寸法:20mm)
混和材	シリカフェーム
混和剤	高性能AE減水剤(アミノスルホン酸系)

表-3 シリカフェームの品質

製品	形態	粉末
比重		2.2
比表面積	( $\text{m}^2/\text{g}$ )	23.7
付着水分	(%)	1.2
化学成分	ig. loss	2.4
	SiO <sub>2</sub>	92.7
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8
	FeO <sub>3</sub>	0.9
	CaO	0.0
	MgO	0.6
	SO <sub>3</sub>	0.4
	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.49
	K <sub>2</sub> O	1.63
	(%)	cl <sup>-</sup>
	C	1.5

表-4 調合表

調合記号	スランプ <sup>*</sup> フロー(mm)	スランプ(cm)	水結合材比(%)	空気量(%)	細骨材率(%)	単位水量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				
							セメント	細骨材	粗骨材	フシリカム	減水剤能AE
SF-con	$500 \pm 50$		35	2	48.6	160	411	832	928	46	11.0
N-con	$21 \pm 1.5$		40	2	46.3	160	400	798	976	-	9.2

\*高性能AE減水剤は、それぞれの調合に適した減水率をもつタイプを使用した。

表-5 ポンプの性能

形式	油圧ピストン方式
最大吐出量(吐出量×吐出圧力)	$110\text{m}^3/\text{h} \times 45\text{kgf}/\text{cm}^2$
シリンダー径×最大ストローク	$\phi 225 \times 1,650\text{mm}$

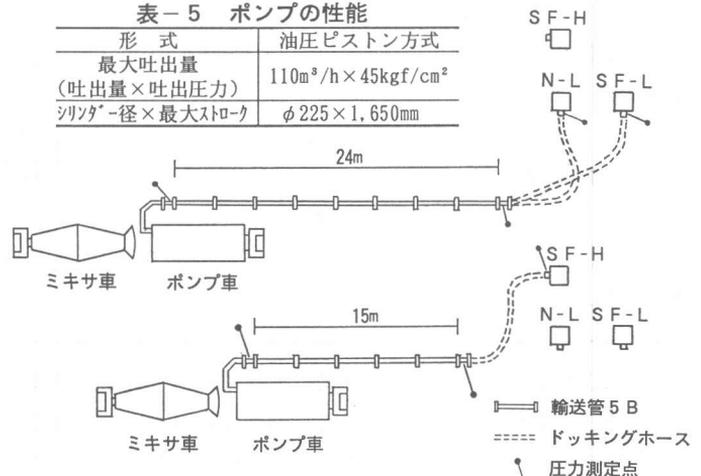


図-4 配管計画

## 2.4 計測および試験の項目

### (1) コンクリート充填時の計測・試験項目

出荷時、荷卸時のコンクリート、および鋼管の天端から採取した圧入後のコンクリートについて、フレッシュコンクリート試験を行った。荷卸時についてはブリージング試験も行った。

コンクリートの圧送・圧入負荷を把握するため、鋼管の側圧、輸送管の管内圧力を測定した。また、鋼管の変形挙動を把握するため、鋼管の面外方向のたわみ（以下、はらみという）およびひずみを1週間にわたって計測した。はらみは各層の柱中央位置に設置した変位計により、ひずみは鋼管外周面に貼付した二軸ゲージにより計測した。

### (2) コンクリート硬化後の計測・試験項目

コンクリートが硬化した後に試験体鋼管を分解し、ダイヤフラム下面の充填状況を観察し、コンクリートの沈降量および空隙面積率（ダイヤフラム面積に対する空隙面積の比率）を測定した。

柱断面中央位置のコンクリート・コア供試体（100φ×200）を採取し、圧縮強度、単位容積質量および粗骨材面積率（コア側面の表面積に対する粗骨材面積の比率）を測定した。また、出荷時、荷卸時および充填後に採取した供試体の圧縮強度試験を行った。

表-6 フレッシュコンクリート試験結果

記号	試験時期	スランプ <sup>o</sup> (cm)	スランプ <sup>o</sup> フロー <sup>o</sup> (mm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	ブリージング量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )
SF-L	出荷時	26.5	530	0.6	16.5	-
	荷卸時	24.0	445	0.4	16.0	0
	圧入後	21.5	375	0.3	16.0	-
SF-H	出荷時	26.0	568	0.6	16.0	-
	荷卸時	25.0	490	0.9	16.0	0
	圧入後	22.0	400	1.1	16.0	-
N-L	出荷時	23.0	403	1.8	16.5	-
	荷卸時	22.0	375	1.2	14.0	0.05
	圧入後	18.5	325	1.5	14.0	-

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 コンクリート充填時の状況

#### (1) フレッシュコンクリートの性状

表-6にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。ブリージングはSF-conでは全く生じず、N-conでも十分に小さい値であった。図-5にスランプ値およびスランプフロー値の試験時期による変化を示す。各調合とも運搬およびポンプによる圧送・圧入により、スランプおよびスランプフローにかなりの低下が認められた。時間経過によるスランプロスに加え、圧入によるスランプロスが大きかったものと思われる。

#### (2) 鋼管の側圧および輸送管の管内圧力

図-6に鋼管および輸送管の圧力分布を示す。図中に示した破線は、コンクリートの自重が液圧として作用した場合の側圧の計算値

である。SF-L柱において生じた側圧は自重による側圧とほぼ等しく、SF-H柱およびN-L柱においても若干大きい程度である。すなわち、鋼管内においてはコンクリートの流動にともなう圧力損失はほとんど生じていない。これは鋼管の断面積が輸送管等と比べ十分に大きいためであると考

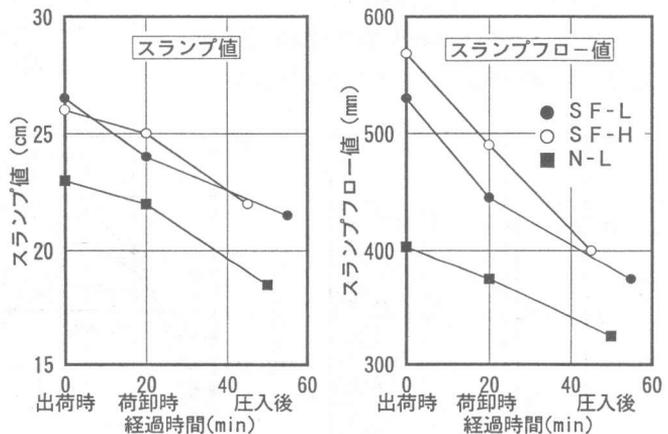


図-5 スランプおよびスランプフローの変化

えられる。また、側圧は高さに対してほぼ直線的に分布しており、コンクリートがダイヤフラムを通過する際の圧力損失は認められない。

### (3) 鋼管の挙動

図-7に、実測ひずみより算出した鋼管外周面の管周方向応力と充填高さの関係の一例(SF-L)を示す。充填高さにはほぼ比例してその絶対値が増加している。内圧を受けた場合の鋼管柱の挙動を調べるために、鋼管の断面を線材に置換し、平面フレーム弾性応力解析を実施した。図-8に1階柱における管周方向応力の実測値と解析結果を比較して示す(SF-L)。実測値と解析値は非常によく対応しており、冷間成形鋼管を用いても折り曲げ部分に剛性の低下がないことがわかった。図-9に各層の鋼管のはらみ量と充填高さの関係を示す(SF-L)。図中の破線は解析結果から算出した1階柱のはらみ量である。本実験の範囲においては、鋼管に発生する応力およびはらみ量は、コンクリートの自重が液圧として作用するとした計算により予測できることがわかった。

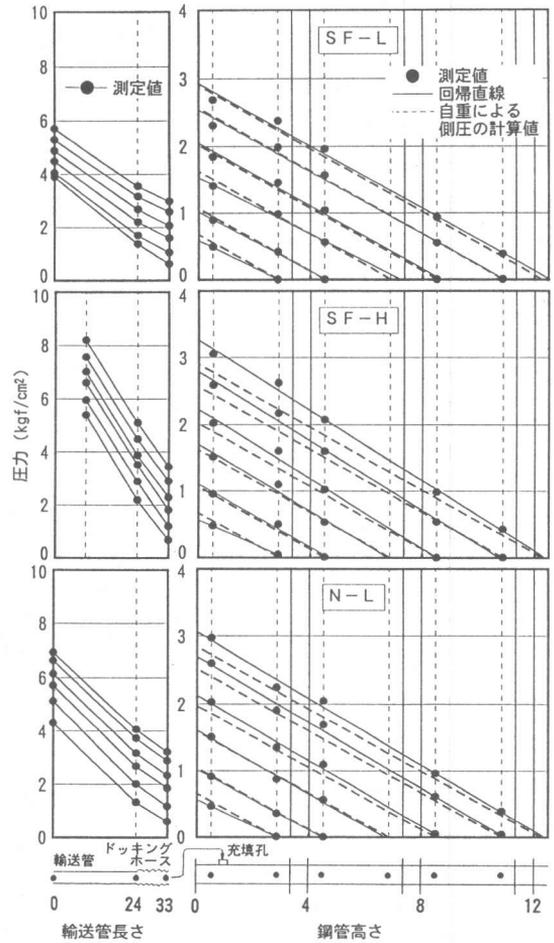


図-6 鋼管および送管の圧力分布

## 3.2 コンクリート硬化後の状況

### (1) コンクリートの充填状況

ダイヤフラム下面の充填状況を観察した結果、N-L柱では、ダイヤフラム下面に接

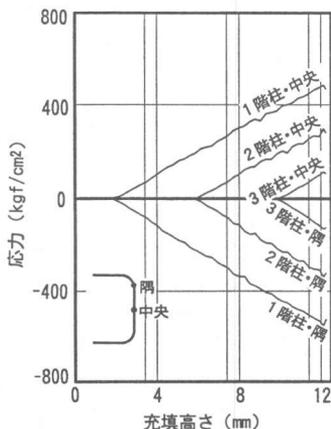


図-7 鋼管応力と充填高さの関係 (SF-L)

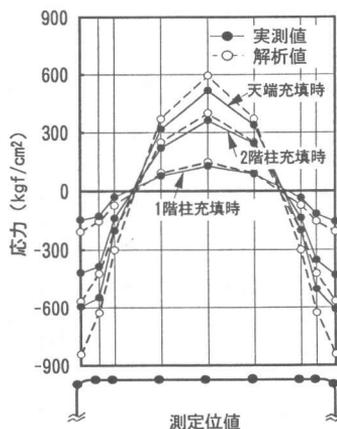


図-8 鋼管応力の分布 (SF-L)

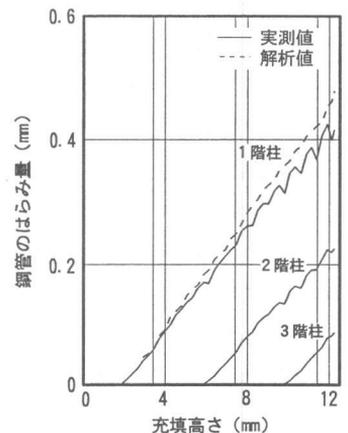


図-9 鋼管はらみ量と充填高さの関係 (SF-L)

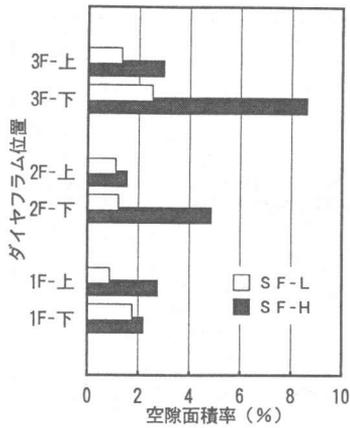


図-10 空隙面積率

するコンクリートが全体的に数ミリ沈降しており、ほぼ全面に空隙が認められた。また、ダイアフラムの開口の上方10cm程度にわたって、コンクリートに微小なひびわれが発生している部分が認められた。コンクリートの沈降はダイアフラムに遮られるため、柱一体として生じるのではなく、ダイアフラムで挟まれた部分で生じているものと思われる。一方、SF-L柱およびSF-H柱ではコンクリートの沈降は生じておらず、主に空気泡による小さな空隙が認められた。図-10にSF-L柱およびSF-H柱におけるダイアフラム下面の空隙面積率の測定結果を示す。これらの試験体における空隙面積率は、本実験の目標値である10%以下を満足している。なお、目標値は、空隙が柱断面の曲げおよび軸耐力におよぼす影響を、SRC規準・一般累加強度式により計算し、その低下割合が許容できる範囲にあることを確認した上で設定した。

(2)硬化コンクリートの性状

図-11に断面中央部のコアの圧縮強度、単位容積質量および粗骨材面積率の分布を示す。SF-L

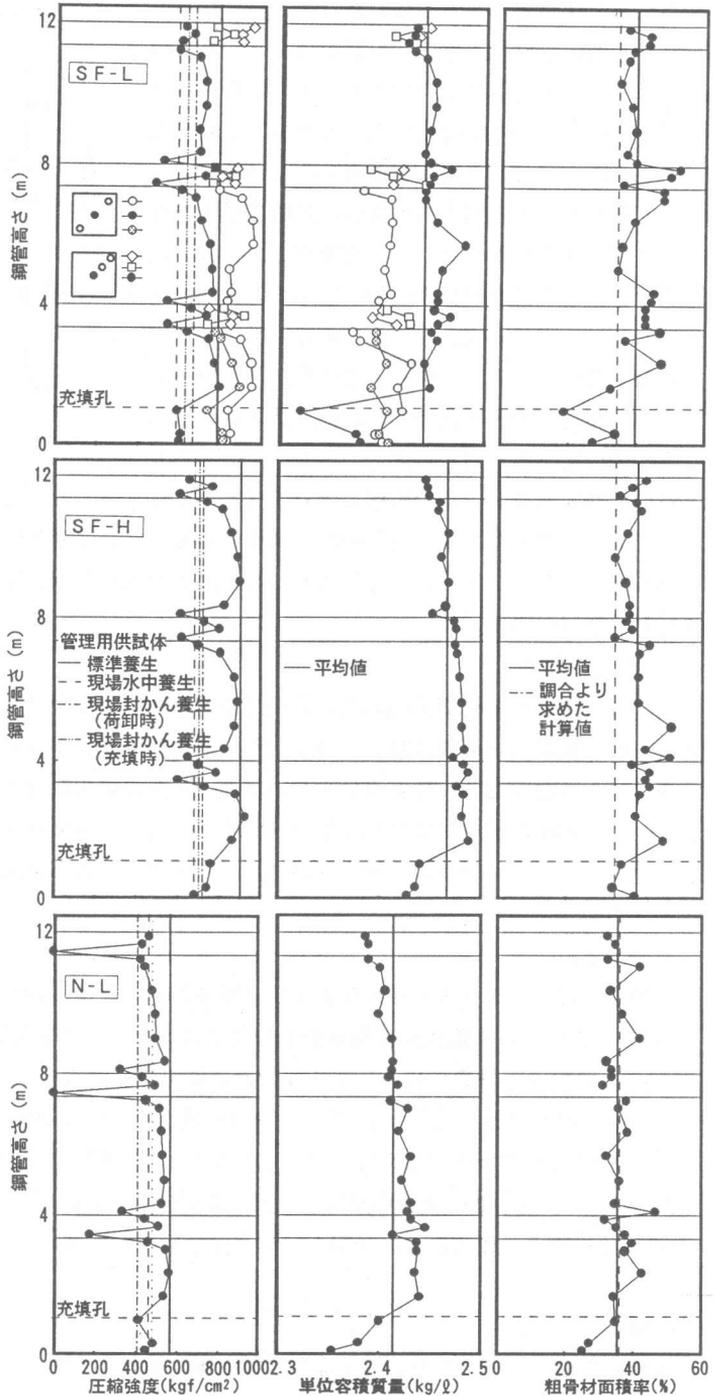


図-11 構造体の圧縮強度、単位容積質量および粗骨材面積率

柱については隅角部から採取したコア（材令70日）の性状も併記した。圧縮強度の図中に示した縦線は、材令28日における各種管理用供試体の圧縮強度を示している。コアの圧縮強度はダイヤフラム上面および充填孔の下側において低い値を示している。しかし、ダイヤフラム上面の隅角部の圧縮強度低下割合は中央部分ほど顕著ではなく、空隙率と同様の方法により算出した耐力の低下は僅かである。充填孔下に関しては、単位容積質量および粗骨材面積率が小さくなっており、上方に向かって吐出されたコンクリートの粗骨材が充填孔の下側に回り込まなかったことが原因であると思われる。

単位容積質量は、自重の影響により上方にいくにつれて若干小さくなっているものの、全体としては顕著な変化は認められない。また、粗骨材面積率もほぼ均等に分布している。これらの結果を見るかぎり、圧入によりモルタルと粗骨材の間に材料分離は生じていない。

### (3)鋼管の残留応力

図-12に1階柱の管周方向応力の経時変化を示す。コンクリート充填によって鋼管に生じた応力は、打設後約半日の間に急激に減少した。それ以降は、コンクリートが硬化するにしたがって急激な変化はなくなり、外気温によるコンクリートの膨張収縮にともなう変動を繰り返すのみとなる。この程度の部材では硬化発熱は小さく、それによる膨張・収縮の影響は認められない。安定状態となった後も緩やかな減少傾向を示しており、何らかの体積収縮を生じたものと思われる。

## 4. まとめ

充填型鋼管コンクリート柱の圧入施工実験を行った結果、得られた知見は以下のとおりである。

- (1) シリカフェームを混入した低水結合材比のコンクリートを用いれば、圧入施工の施工性は良好であり、かつ、鋼管内において所要の充填度が得られる。
- (2) 圧入時の鋼管内圧力はコンクリート自重が液圧として作用するとした圧力にほぼ等しい。また、圧入時に生じる鋼管の応力およびはらみ量は、その側圧に対応したものである。
- (3) ダイヤフラム上面の断面中央部分に圧縮強度の低下が認められるが、断面周辺部における強度低下は小さく、曲げおよび軸耐力におよぼす影響は小さい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な御示唆を賜りました九州大学・松井千秋教授に深く御礼申し上げます。また、実験の実施に際し、御協力頂きました藤沢薬品工業（株）に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 立山創一・福岡信・加藤容・代田佳史・宮野洋一・鈴木英之：充填型鋼管コンクリートの圧入施工実験（その1，その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp1482-1485，1991.9
- 2) 山尾信一・岡村一臣・横須賀誠一・織茂博文・胡木清人：鋼管充填コンクリートの圧入施工実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp1486-1487，1991.9

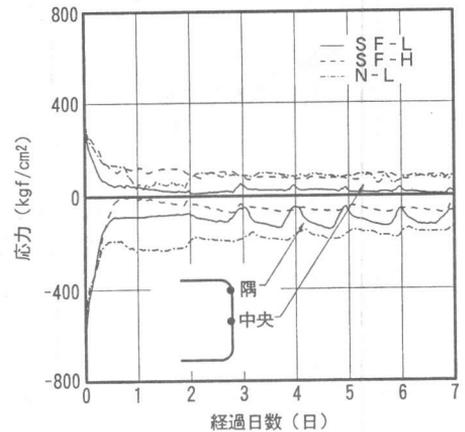


図-12 鋼管応力の経時変化