

報告

[1035] 充填型鋼管コンクリート柱への高流動ノンブリージングコンクリートの圧入

立山創一\*1・福岡信\*2・宮野洋一\*3・鈴木英之\*3

1. はじめに

充填型鋼管コンクリート構造は、鋼管の柱にコンクリートを充填し、一体化することによって①軸力をコンクリートに負担させる事が出来き、かつ、柱の剛性も増すために純鉄骨柱に比べて柱のサイズを下げる事が可能となる②熱容量が大きくなるため、耐火性能が向上する等の特徴を有する構造である。

このように優れた特徴を有するにもかかわらず、本構造に対しては1990年度の建築学会のパネルディスカッションにおいて述べられているように、コンクリートの充填に対する不安感等の施工上の問題点を有しているため、積極的な適用に至っていない[1]。

筆者らは、より確実に充填の可能な柱脚部からの圧入による方法を採用することとし、圧入用のコンクリートの開発を行ってきた[2][3]。この種のコンクリートの開発主眼は、圧入時に材料分離が生じないこと、圧入後ブリージングによってダイアフラム下部に空隙を生じないことである。これらを解決するため、流動性の向上と材料分離抵抗性及び保水性の付与にシリカフェームを使用しスランプロスの小さい高減水性の高性能AE減水剤を使用することとした。これにより、充填性と圧入性に優れたコンクリートの製造が可能となった。

本報告は、開発したコンクリートを用い、かつ、より一層の圧入性と充填性を確保するために、ダイアフラムに開口率の大きい鋳鋼製のものを使用して施工を行った現場において実施した計測結果に若干の考察を加えたものである。

2. 施工概要

2.1 建物概要

建物の軸組図およびキープランを図-1, 2に示す。建物は建築面積215m<sup>2</sup>、延床面積2051m<sup>2</sup>、軒高31.92m、地上9階のS造(一部SRC造)である。

2.2 圧入概要

圧入の順序は図-2に示す番号の順で実施した。圧入口はFLより+1.15mの位置にあり、ここから屋上梁上端までの30.42mを一気に圧入した。

ダイアフラムは図-3に示す形状

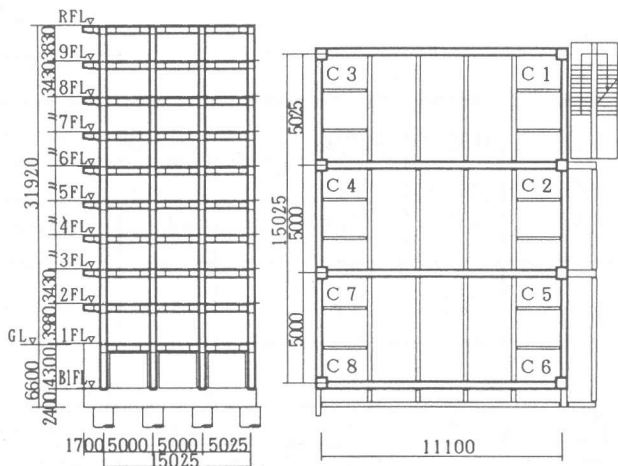


図-1 軸組図

図-2 キープラン

\*1 安藤建設(株) 技術研究所、工修(正会員)  
 \*2 安藤建設(株) 技術研究所材料研究室室長、工博(正会員)  
 \*3 安藤建設(株) 技術研究所、工修

の鑄鋼製穴明きダイアフラムを使用した。特徴は開口率が大きいこと、ダイアフラム下端にテーパが切つてあることである。これにより充填性が向上し、壁面およびダイアフラムからコンクリートへの応力の伝達を確実にしている。

圧入にはピストン前面圧60 kgf/cm<sup>2</sup>のピストン式コンクリートポンプ車を使用した。圧入に先立ちモルタルを先送りした。

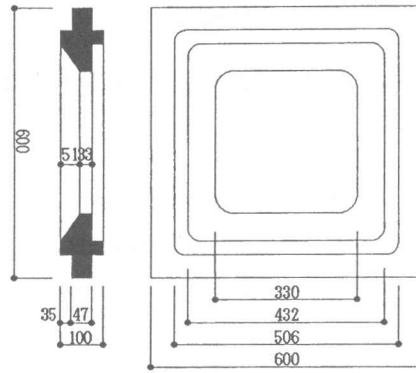


図-3 ダイアフラム形状

### 3. 試験概要

#### 3.1 コンクリートの調合および使用材料

コンクリートの調合を表-1に示す。調合の特徴はブリージングを抑制することと材料分離抵抗性を付与するためにシリカフェームを結合材の内割りで約一割り置換していることである。混入の割合はペーストによるブリージング試験を基に決定した[2]。水結合材比が40%程度のコンクリートにシリカフェームを混入し高性能AE減水剤を使用することにより、セメント単味のコンクリートに比べて粘性が低く流動性と分離抵抗性に富む調合を得ることが可能となった。今回、より流動性を高めることと水和発熱を抑制するために開発当初の調合からセメントの種類を普通ポルトランドセメントより高炉セメントB種に変更した。

コンクリートの目標品質はスランプフローが520±60mmであり、空気量が2.0%以下である。使用材料の一覧を表-2に示す。

表-1 コンクリートの調合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水結合 材比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水	結 合 材		細骨材	粗骨材	混和剤
				セメント	シリカフェーム			
20	39	48	175	409	40	821	924	10.327

表-2 使用材料

使用材料	種 類	物 性 および 成 分
セメント	高炉B種	比重:3.05, 比表面積:3690cm <sup>2</sup> /g
細骨材1	砕砂(5割)	表乾比重:2.60, 吸水率:2.17%, FM=3.34
細骨材2	山砂(5割)	表乾比重:2.59, 吸水率:2.42%, FM=2.07
粗骨材	石灰碎石	表乾比重:2.70, 吸水率:0.56%, FM=6.55
混和材	シリカフェーム	比重:2.20, 比表面積:20m <sup>2</sup> /g, SiO <sub>2</sub> =90%
混和剤	高性能AE減水剤	アミノスルホン酸系高分子化合物

### 3. 2 計測項目及び方法並びに位置

計測項目および方法と計測を実施した柱記号（図-2参照）の一覧を表-3に示す。圧入後のコンクリート試料は柱頭部においてオーバーフローさせたものを用いた。

表-3 計測項目および方法

項目	方法	柱記号
スランプフロー	JIS A 1101 に準拠（圧入前後）	C <sub>3, 5, 7</sub>
空気量	JIS A 1128（圧入前後）	C <sub>3, 5, 7</sub>
圧縮強度	JIS A 1108（圧入前後）	C <sub>3, 5, 7</sub>
側圧	鋼管側面に取り付けた圧力センサーを動歪測定器にて計測	C <sub>3</sub>
沈下量	柱頭部において変位計にて計測	C <sub>3, 4</sub>

## 4. 結果及び考察

### 4. 1 圧入前後のコンクリートの性状

圧入前後のコンクリートの性状を表-4及び図-4に示す。

スランプ及びスランプフロー

は圧入によってどの柱も若干小さくなり、平均値で見ると、スランプで0.6 cm、スランプフローで1.5 cm小さくなった。空気量については圧入によってやや増加する傾向にあった。圧縮強度は圧入によって若干ではあるが大きくなった。

スランプフローの低下の主な原因は文献でも述べられているように、鋼管内壁

へのモルタル分の付着と考えられるが、変化量が小さかったことから、その付着量は僅かであったと予想される〔4〕〔6〕。圧縮強度が低下しなかった原因は、ダイアフラムの開口率がおおきく圧入中の圧力の変動が少ないこと、シリカフェームの混入によって圧送性が改善され圧送抵抗が小さくなったためと思われる。

### 4. 2 圧入による性状変化に影響を及ぼす要因の推定

建築学会の学術講演梗概集から収集した圧入施工に関するデータの一覧を表-5に示す。表中のE、Fは多糖類ポリマーの一種を分離低減剤として用いた、超流動コンクリートである。

圧入によるスランプフロー低下の主要因は、鋼管内壁へのモルタル分の付着であろうが、他に①ダイアフラムの開口率と通過数②圧入高さ③コンクリートの粘性等が考えられる。内壁表面積は、上記の①と②の要素をその数値の中に含んでおり、圧入によるスランプフロー変化との関係

表-4 コンクリートの性状

柱記号	位置	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	
					7日	28日
C3	前	24.9	48*47	0.4	313	472
	後	24.1	45*44	0.7	332	537
C5	前	24.2	47*46	0.8	307	478
	後	24.2	48*43	0.4	329	517
C7	前	24.9	49*45	0.4	303	474
	後	24.0	48*45	0.8	317	478
平均	前	24.7	48*46	0.5	308	475
	後	24.1	47*44	0.6	326	511

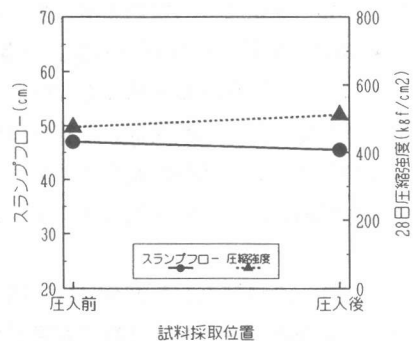
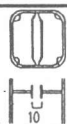


図-4 圧入前後の性状

表-5 圧入施工に関する一覧

記号	A	B	C	D	E	F	G	
文献番号	本報告	[3]	未発表	[4]	[5]	[6]	[7]	
調査概要	W/B*1	39%	37%	37%	30%	34%	34%	32.5%
	混和材料	シリカフェーム 高性能A E減水剤	シリカフェーム 高性能A E減水剤	シリカフェーム 高性能A E減水剤	高性能A E減水剤	分離低減 剤、高性能A E減水剤	分離低減 剤、高性能A E減水剤	高炉スラグ 微粉末 高性能A E減水剤
	セメント種類	高炉B	普通ポルト	普通ポルト	普通ポルト	3成分系 低発熱	3成分系 低発熱	普通ポルト
圧入高(m)	31.9	14.0	7.8	32.15	39.4	36.0	11.4	
柱寸法(cm)	□-50*50	□-45*45	□-45*45	□-60*60	○-90	□-60*60	□-60*60	
ダイヤフラム 形状 (単位:cm)	□-33*33 (鑄鋼製 テーパ付)	φ18 空気抜孔 φ1.5*4	φ18 空気抜孔 φ1.5*4		外ダイヤフラム (内部には無し)	φ18 空気抜孔 φ3*4	φ30 空気抜孔 φ5*4	
ダイヤフラム 開口率(%)	30.3	12.6	12.6	13.9	100	7.1	19.6	
スランブフロー 変化率(%)	-2.1	-31.5	-17.9	-30.6	-52.3	-51.4	0	
内壁表面積 (m <sup>2</sup> )	69.44	28.04	16.17	94.50	111.40	97.11	30.83	
圧縮強度 変化率(%)	+8	+12	-4	-12	-	-	-2	

\*1W/B:水/結合材

を論ずる場合において、適した数値であると考えられる。図-5はこの内壁表面積とスランブフロー変化率の関係を示したものである。両者には相関( $r=0.64$ )が認められたものの、その相関はあまり高くない。この原因は、これらのデータには圧入前の配管長さ、時間の要素(コンクリートの経時変化)や高性能A E減水剤のタイプの影響等が入っていないことによる。

AとB、Cは基本的な調査はほぼ同じであるが、セメントを高炉セメントB種に変更しており、また、水セメント比も2%大きいために、コンクリートの

粘性が低くなり内壁へのモルタルの付着量が少なくなったことと、ダイヤフラムの開口率が大きくなったために圧入中の圧力の変動が小さくAの変化率が小さくなったと思われる。変化率の小さいAとGの共通点は、調合的には高炉スラグを含んでいることと、ダイヤフラムの開口率が他に比べ大きいことである。E、Fは分離低減剤を使用しており、コンクリートの粘性が高く、

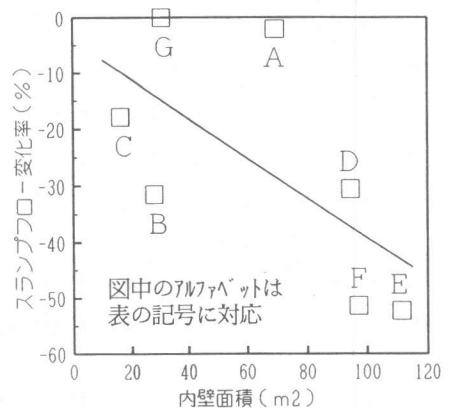


図-5 内壁面積とスランブフロー変化率

また、圧入高さも高く、鋼管内壁に付着したモルタル分が多くその影響で変化率が大きくなったものと考えられる。

圧縮強度と内壁面積との間には相関は認められなかった。

#### 4.3 圧入によるコンクリートの側圧と鋼管応力

1階柱の圧入口からコンクリートを圧入したときの側圧と鋼管柱の応力の測定を行った。測定点を図-6に示す。圧入時の側圧は図-7に示すように、ポンプ車の送りに合わせて脈動しながら単調増加している。各階のダイヤフラム部の通過時や途中でポンプ車にコンクリートを補充するために圧入を一時停止した後の圧入再開時にも側圧の増加する現象は特に認められなかった。圧入時の側圧が

$$P = A \cdot \rho \cdot h$$

[A : 定数、 $\rho$  : コンクリート密度 ( $t/m^3$ )、  
h : 測定点からコンクリート天端までの高さ (m)]

で表されるとすると、本実験結果では図-8に示すように  $A = 1.08$  と得られた。圧入後の側圧の経時変化を図-9に示す。これより側圧はコンクリートの硬化に伴い徐々に減少し、圧入直後の  $P = 6.8 \text{ kg/cm}^2$  から5.5時間経過した時点で約  $1/3$  になった。図-10に中央点の鋼管応力の経時変化を示すが、管周方向の鋼管の応力も側圧に呼応して圧入直後の  $\sigma_x = 750 \text{ kg/cm}^2$  から約  $1/3$  に低下した。一方、軸方向応力  $\sigma_y$  は非常に小さいものであった。圧入直後の側圧に対する鋼管の管周方向の応力分布を図-11に示す。図中、計算値は角型鋼管の一辺を両端固定の帯板として取り出し側圧に対応する分布荷重と両隣辺からの引張力を負荷した通常の梁理論で求めたものである。計算値が実験値より若干高めであるが、これは計算モデルが角型鋼管の4隅のアール部を考慮していないためであると思われる。

#### 4.4 圧入後のコンクリートの沈下

柱天端のコンクリートの沈下量を図-12に示す。沈下は圧入終了から約1.5時間の間に約1.4mm生じており、その後は殆ど変化は見られなかった。沈下は階段状に生じており、図-9に示すように沈下した瞬間に呼応して1階の柱の側圧が増加する現象が見られた。この段階的な沈下は、各階に

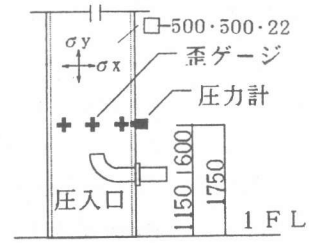


図-6 測定位置

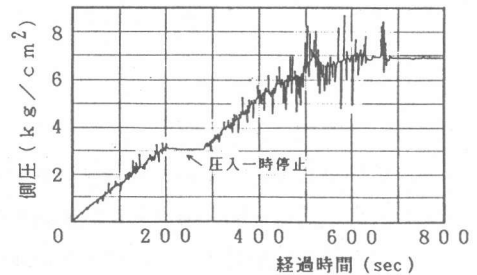


図-7 圧入時の側圧変化

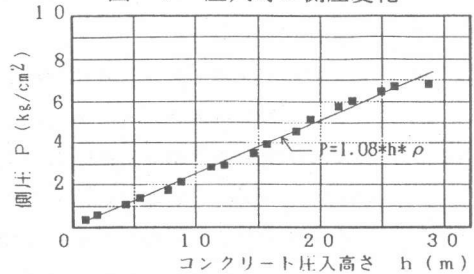


図-8 コンクリートの圧入高さと同側圧

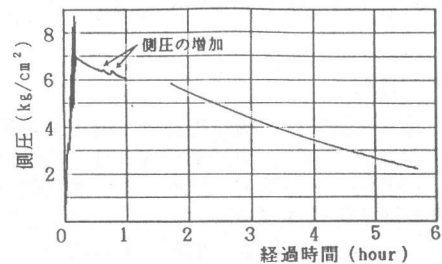


図-9 側圧の経時変化

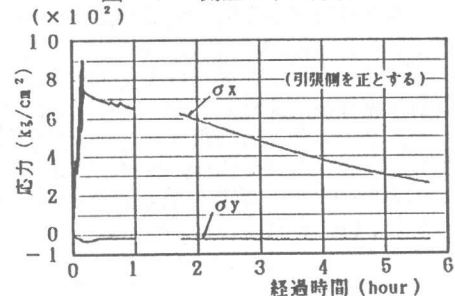


図-10 鋼管応力の経時変化

設けた火災時の蒸気抜き孔および圧入口からの脱水による圧密沈下と鋼管内壁のコンクリートの付着平衡が崩れた際に生じるためと推察した。

圧入終了後、柱天端でのコンクリートのブリージングは認められなかった。

#### 4.5 コンクリートの充填確認

圧入施工終了後、打撃音による各部の充填状況を確認した。確認作業はダイアフラム下端を重点的に行った。その結果、空隙が認められる箇所はなく、コンクリートは確実に充填されたものと思われる。

#### 5. まとめ

今回の結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 今回の調査と開口率の大きい鋳鋼製のダイアフラムを使用すると、約3.2mの圧入においても、コンクリートの品質の変動はほとんど認められなかった。
- (2) 圧入によるスランプフロー変化の小さいものの共通点は、高炉スラグを使用し、ダイアフラムの開口率が大きいことであった。
- (3) 圧入により鋼管に作用する側圧は、コンクリート自重圧の1.08倍であり、ダイアフラム部通過に伴う側圧の増加は認められなかった。
- (4) 圧入後のコンクリートの沈下は1.4mmであり、沈下に呼応して柱の側圧が増加した。柱天端でのコンクリートのブリージングは認められなかった。
- (5) 打撃音による充填状況の確認では、各部とも確実に充填されたものと考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 日本建築学会・構造委員会：充てん形鋼管コンクリート構造の諸問題、1990年度日本建築学会大会（中国）構造部門（SRC構造運営委員会）パネルディスカッション資料、1990.10
- 2) 立山創一・福岡信：ブリージングを抑制したコンクリートの室内調査実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp.847-848、1990.10
- 3) 立山創一・福岡信・加藤容・代田佳史：充填型鋼管コンクリート柱の圧入施工実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）、pp.961-962、1991.9
- 4) 和泉意登志ほか：充填型鋼管コンクリート柱の圧入施工実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、pp.935-936、1989.10
- 5) 山崎真司ほか：充填型鋼管柱への超流動コンクリートの圧入その1～3、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.909-914、1992.8
- 6) 岡本修一ほか：超流動コンクリートの充填型鋼管コンクリート柱への適用、コンクリート工学論文集、vol.4、No.1、pp.79-89、1993.1
- 7) 山尾信一ほか：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（東北）、pp.965-966 1991.9

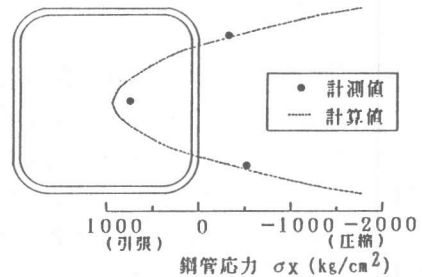


図-1.1 鋼管の応力分布

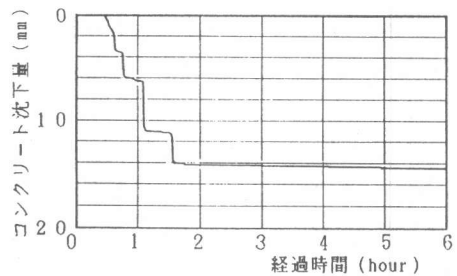


図-1.2 コンクリートの沈下量