

報 告

[1179] 充填型鋼管コンクリートの基礎物性と圧入施工実験

松田 敏\*1・田中健治郎\*2・渡部 聡\*1・菅 一雅\*3

1. はじめに

充填型鋼管コンクリート柱は、鋼管による充填コンクリートの拘束効果とコンクリートによる鋼管の座屈補剛効果の相乗作用により、終局耐力の向上や優れた変形性能が期待される。充填型鋼管コンクリート柱を構成するコンクリートとして要求される特性には、①密実に充填される流動性を有すること、②鉛直方向への材料分離（ブリージング、骨材分離）をほとんど生じないことなどが挙げられる。また、施工された柱の品質については、③空隙なくコンクリートが充填されていること（特に、ダイヤフラム下に空隙が生じないこと）、④設計強度を満足するコンクリート強度が確保されていることなどが挙げられる。

本報告では、高性能AE減水剤と鉱物微粉末（石灰石粉）の併用使用で流動性と材料分離抵抗性を持たせた充填用コンクリートと、さらにダイヤフラム下での空隙形成を極力防止するためにアルミニウム微粉末を主成分とする膨張剤を添加した充填用コンクリートの各々のフレッシュ時および硬化後の物性について（実験Ⅰ）、さらに、実験Ⅰで示されたコンクリートを使用した実大規模柱試験体への圧入施工実験の結果について（実験Ⅱ）述べる。

2. 実験Ⅰ：充填用コンクリートの物性

2. 1 実験概要

実験に使用した材料を表-1に、調合を表-2に示す。コンクリートの練り混ぜは、容量100ℓの二軸強制練りミキサーを使用した。

フレッシュ時の物性については、スランプ、スランプフロー、空気量、ブリージング、凝結、コンクリートの体積変化（膨張量）を試験した。また、硬化後の圧縮強度（材令1週、4週）についても試験を実施した。なお、膨張剤を添加したコンクリートの圧縮強度は、打上がり天端面に膨張拘束用の錘（1t/m<sup>2</sup>）を膨張終了まで載荷した試験体の値である。

調合決定にあたっては、単位水量を160kg/m<sup>3</sup>一定とし、スランプフローが60±5cm、空気量が4±1%になる条件で、良好な流動性と材料分離抵抗性が得られるように、石灰石粉および高性能AE減水剤（以下SPと略記）、AE助剤を添加した。また膨張剤

表-1 使用材料

使用材料	種 類	物 性 お よ び 成 分
セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.15
細骨材	小笠町産山砂	表乾比重 2.61, 吸水率 1.33%, FM=2.89
粗骨材	石巻山産碎石	G <sub>max</sub> =20mm, 表乾比重 3.00, 吸水率 0.63%, FM=6.67
混和材	フライアッシュ	比重 2.16, 比表面積 2920 cm <sup>2</sup> /g
	石灰石粉	比重 2.71, 比表面積 7500 cm <sup>2</sup> /g, 石灰純度 99.0%
混和剤	高性能AE減水剤	ナフタリン系
	空気連行剤	変性アルキルカルボン酸化合物
	膨 張 剤	特殊処理7μm粉末を流動化剤に33g/ℓ混入した溶液

\*1 (株)熊谷組 技術研究所 材料研究部 (正会員)

\*2 (株)熊谷組 技術研究所 材料研究部部長 (正会員)

\*3 (株)熊谷組 東京支店 (正会員)

を添加したコンクリートについては、コンクリート温度が30℃程度で自由膨張率が1%程度となるように膨張剤を添加した。なお、膨張率は、φ15cm×30cmのモールドにコンクリートを詰めダイヤルゲージにてコンクリート上面の上下方向の変位を計測し求めた。

## 2. 2 結果および考察

各調合の試験結果を表-3に示す。

(1)スランプフローおよびブリージング： スランプフロー60±5cmを得るためのSP使用量は、(セメント+フライアッシュ)の重量比で

2.4%~2.7%程度であった。また、いずれの調合においてもブリージング率は0%であった。

(2)凝結時間： 始発時間はW/(C+F)が小さくなるほど長くなる。これは、SPの使用量が低W/(C+F)ほど多くなるためであると推測される。始発から終結までの時間は、全てにおいて2時間程度であった。

また、膨張剤の添加による影響はほとんどなかった。

(3)膨張率： コンクリートの膨張率の経時変化を図-1に示す。膨張剤を添加しないコンクリートの沈下は0.4~0.7%程度であり、10時間程度でほとんど終了する。膨張剤を添加したコンクリートは添加約30分後から膨張し始め、20時間程度で終了する。膨張率を1%程度得るための膨張剤の使用量は0.5~0.7ℓ/m<sup>3</sup>となり、単位セメント量が多いほど使用量は少なくなる傾向があった。これは、コンクリート中のアルカリ量によるものと推測される。また、膨張率はコンクリートの温度にも大きく影響され、今回の試験は気温30℃前後の条件下で実施したものであるが、20℃一定下では0.6%程度の膨張率であった。

(4)圧縮強度： 混和材料として石灰石粉を使用したコンクリートにおいても、σ-C/W直線の関係が成り立つ。また、膨張剤を添加したコンクリートは、膨張率が1%程度の場合、コンクリート上面に1t/m<sup>2</sup>程度の拘束荷重を付加すれば膨張による強度低下は見られなかった。

表-2 コンクリートの調合(実験I)

調合No	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤	
			W	C	F	石粉	S	G	SP	膨張剤
①	45	46.8	160	320	36	150	689	1088	9.6	—
②									kg	0.7ℓ
③	38	45.2		379	42	60	721	1085	10.1	—
④									kg	0.6ℓ
⑤	33	44.2		436	48	45	694	1070	12.1	—
⑥									kg	0.5ℓ

注：W/CのCには、フライアッシュを含む。s/aのsには、石灰石粉含む。

表-3 試験結果(実験I)

調合No	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	膨張率 (%)	凝結 (hr:min)		ブリージング率 (%)	圧縮強度 (kg f/cm <sup>2</sup> )	
					始発	終結		1W	4W
①	57.0	4.0	28.0	-0.60	25:20	27:30	0	367	477
②	60.0	4.2	27.0	+1.34	25:30	27:55	0	368	468
③	56.0	5.0	28.0	-0.64	29:05	31:20	0	411	540
④	58.0	5.0	27.5	+1.08	27:55	30:10	0	422	538
⑤	57.5	4.9	28.0	-0.44	33:40	35:25	0	477	598
⑥	60.0	3.9	28.0	+0.97	33:15	35:30	0	482	614

注：凝結試験およびブリージング試験は気温20℃、圧縮強度試験体は標準水中養生

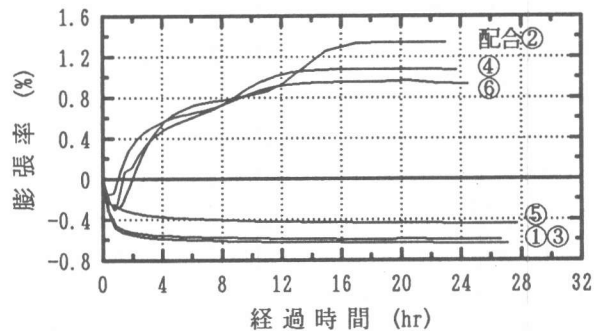


図-1 膨張率の経時変化

### 3. 実験Ⅱ：圧入施工実験

#### 3. 1 実験概要

図-2に示すダイヤフラムを複数有する2種類の鋼管柱に鋼管下部からコンクリートを圧入した。表-4に圧入したコンクリートの調合およびフレッシュ時の物性、圧縮強度の結果を示す。柱1-①には比較のために普通コンクリート（スランプ18cm）を圧入した。なお、膨張剤を添加したコンクリート（柱1-②③，2-②）については、コンクリート上面に膨張拘束用の錘（1t/m<sup>2</sup>）を載荷した。コンクリート圧入開始後、鋼管の挙動を計測するとともに、コンクリート硬化後、鋼管およびダイヤフラムを剥がしコンクリートの充填状況を調べた。さらに柱の中央部でコアを抜き圧縮強度を試験した。なお、柱1は夏季，柱2は冬季に実施したものである。

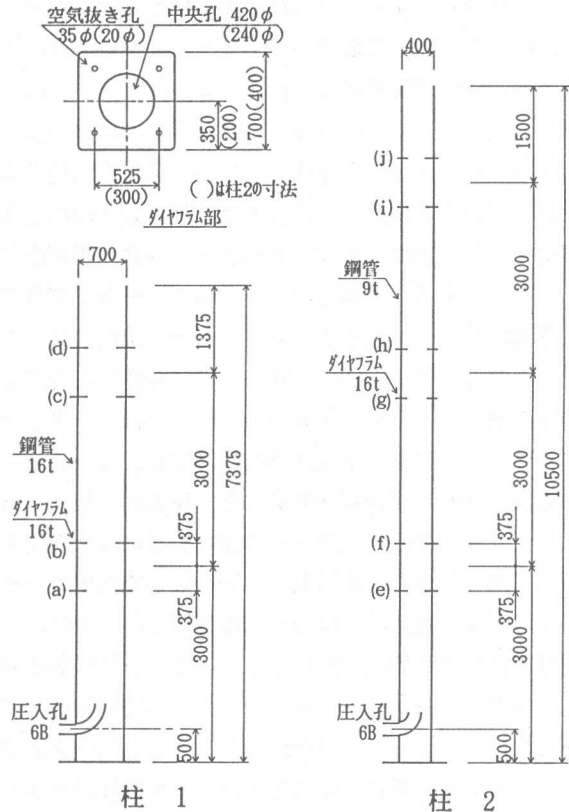


図-2 柱概要図

#### 3. 2 試験結果と考察

(1)コンクリートの圧入状況：コンクリートは、打上がり高さが柱1-①②では約25cm/分，柱1-③，柱2-①②③では約50cm/分になるように圧入した。

圧入時、コンクリート上面は鋼管内を山なりになって上昇するが、普通コンクリート（柱1-①）の場合、流動性がないためダイヤフラム中央孔通過時、崩落するようにダイヤフラム上面に広がる。それに対して充填用コンクリートの場合、流れるようにダイヤフラム上面に広がる。普通コンクリートの場合、圧入途中からコンクリート上昇面に、自重により加圧脱水されたブリ

表-4 コンクリートの調合および試験結果（実験Ⅱ）

柱 No.	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤		スラン プ 70- (cm)	空気 量 (%)	コン クリ ト 温 度 (°C)	フリ ング 率 (%)	膨張 率 (%)	圧縮強度 現場封緘 (4W) (kgf/cm <sup>2</sup> )
			W	C	F	石粉	S	G	SP (kg)	膨張 剤 (ℓ)						
1-①	45	43.6	185	412	—	—	713	1053	0.8	—	27.5	4.7	30.0	2.73	-0.6	388
1-②	45	46.8	160	320	36	180	659	1088	8.9	0.8	59.5	4.0	30.0	0	+1.3	458
1-③	33	44.2	160	436	48	45	694	1070	10.6	0.6	52.5	5.0	34.0	0	+1.0	617
2-①	45	46.8	160	320	36	180	659	1088	11.5	—	56.0	3.1	12.5	0	-0.6	460
2-②									11.4	0.8	56.3	3.4	13.5	0	+2.1	407
2-③	33	44.2	160	436	48	45	694	1070	12.7	—	61.5	4.2	12.0	0	-0.6	550

ージング水が発生し、打設終了後も暫く湧き出した。この量は、最終的にブリージング量で約 8 cc/cm<sup>3</sup>であった。充填用コンクリートについては、圧入中にブリージング水の発生はなく、圧入終了後、膨張剤を添加した柱 1-②, ③, 2-②において若干のブリージングが認められた。このブリージングは、鋼管径の小さな柱 2 のほうが少なかった。膨張剤を添加したコンクリートに若干のブリージングが発生したのは、膨張拘束用の錘 (1 t/m<sup>2</sup>) をコンクリート上面に載荷したためであると推測される。また、鋼管の径の小さな柱 2 のほうが少なかったのは、鋼管内面の摩擦により上部コンクリートにアーチング効果が生じてコンクリートに作用する錘の荷重が弛緩したためであると推測される。このブリージング量は、柱 2-②で 0.1 cc/cm<sup>3</sup>であった。

(2)鋼管の挙動： 柱下部から 1.5 m の位置にダイヤルゲージを取り付け、鋼管の膨らみの経時変化を計測した。結果を表-5 に示す。膨らみは、圧入時はコンクリートが打ち上がるに従いほぼ比例的に増加し、コンクリートの種類に係わらず同程度であった。圧入終了後は、普通コンクリートの場合、90 分の間に急激に 50% 程度戻る。しかしながら、膨張剤を添加しない充填用コンクリートの場合、最終的には 50% 程度戻るが、その戻りは緩慢であり 20 時間程度を要した。また、膨張剤を添加した充填用コンクリートの場合、5~6 時間程度は若干膨らむ傾向を示し、その後膨張剤を添加しない充填用

表-5 各柱の膨らみ

柱 No.	最大変形時		最終 変形量 (mm)
	変形量 (mm)	経過時間	
1-①	1.16	打設直後	0.51
1-③	1.35	225分後	1.00
2-①	1.25	打設直後	0.65
2-②	1.54	450分後	1.28
2-③	1.28	打設直後	0.78

コンクリートと同様に徐々に戻るが、その戻りは 20% 程度に止まっていた。このように、膨張剤の使用は、膨張圧による鋼管の残留応力が大きくなること、また、先にも述べたように、膨張量がコンクリート温度に大きく影響されるため、その使用にあたっては注意を要すると考えられる。

(3)コンクリートの充填状況： コンクリート硬化後、鋼管を剥がしコンクリートの充填状況を調べるとともに、ダイヤフラム下の充填状況についても調べた。

普通コンクリート (柱 1-①) の場合、ブリージング水の上昇により発生した鋼管側面に沿った水みちが多く見受けられた。圧縮強度試験用のコアにおいてもこのような水みちが見受けられたことから、このような欠陥がコンクリート内部にも多く存在していると推測される。充填用コンクリートの場合には、このような欠陥は見受けられなかった。ダイヤフラム下の充填状況については、普通コンクリートの場合ダイヤフラム上に抜ける水みちが多数見受けられたが、充填用コンクリートの場合膨張剤の有無に係わらずこのようなものは見られずダイヤフラム下に隙間なくコンクリートが充填されていた。

このように、充填用コンクリートは膨張剤を添加しなくとも鋼管内への充填性を十分に確保できると考えられる。また、膨張剤を混入した充填用コンクリートの場合、ダイヤフラム下面とコンクリートとの付着がより強くなり、ダイヤフラム下の充填状況を調べるためにダイヤフラム下でコンクリートを割った時にコンクリートの一部がダイヤフラム側に付着して残るものもあった。

(4)コンクリートの強度分布

各柱の中央部において、コアボーリングを行い圧縮強度 (材令 4 週, 試験体寸法 φ10cm×20cm) を調べた。図-3~図-8 に各柱の高さ方向の圧縮強度分布を示す。

普通コンクリート (柱 1-①) において柱上部になるに従い強度が低くなっているのは、ブリージングによる影響であると推測される。また、膨張剤を添加した充填用コンクリート (柱 1-

②③, 2-②) においても同じ傾向が見られる。これは、鋼管下部になるほど鉛直方向の膨張拘束力(主にコンクリートの自重による)が大きくなり強度が増加したものと推測される。

柱2(図-6~図-8)の場合、柱1と異なり、コンクリートの強度分布はダイヤフラム近傍(図中に●で表示)とその他の部分とで明確な差があり、ダイヤフラム近傍の強度は他の部分に対して最大で40%程度(平均で20%程度)低下している。この原因の一つとして、ダイヤフ

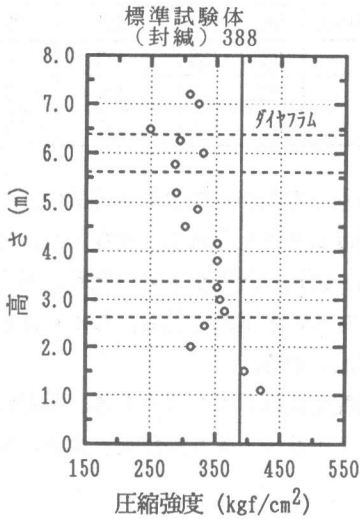


図-3 柱1-①

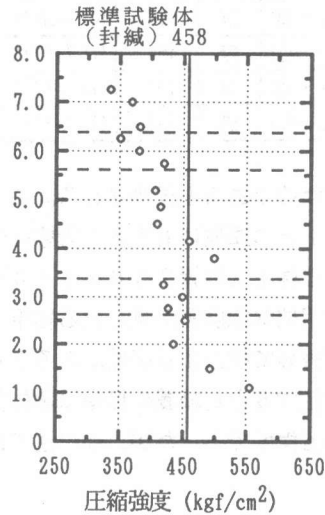


図-4 柱1-②

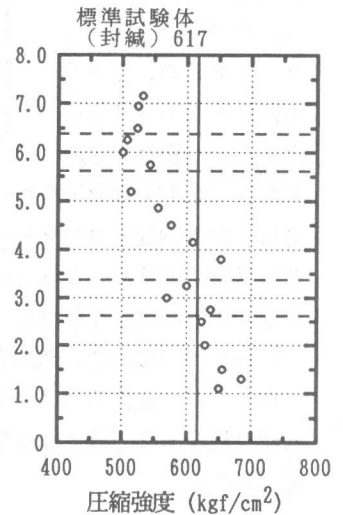


図-5 柱1-③

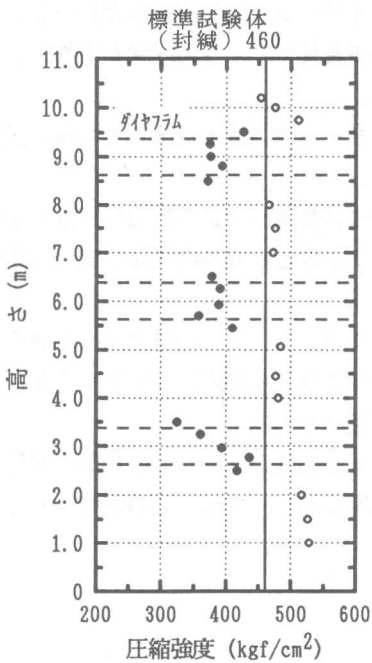


図-6 柱2-①

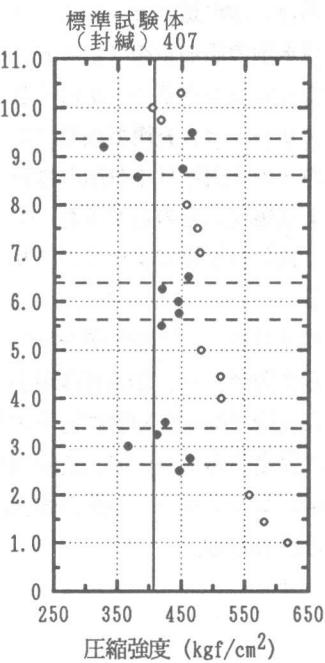


図-7 柱2-②

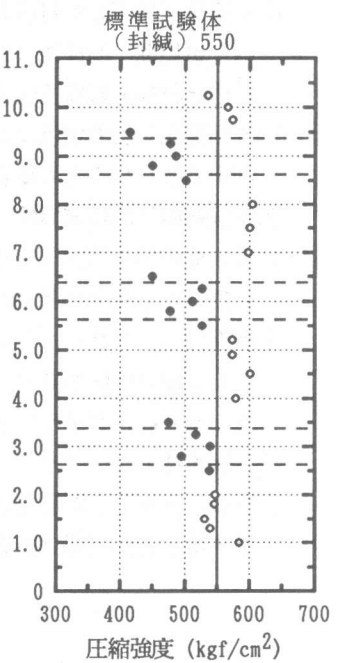


図-8 柱2-③

ラム中央孔直上のコンクリートが沈下することに対してダイヤフラム直上のコンクリートが抵抗したことが考えられる。つまり、中央孔直上のコンクリートは鉛直方向から沈下しようとする力と、水平方向から沈下させまいとする力が相互に作用

表-6 コア試験体と封緘養生試験体の圧縮強度の比較

柱 No.	膨張 剤 の 有無	封 緘 養 生 強 度 kgf/cm <sup>2</sup>	柱中央部のコア圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )				
			最低強度位置 (図-2のダイヤ フラム位置参照)	最低 強度	封緘 との 差	ダイヤフラム近傍 以外での 最低強度	封緘 との差
1-①	無	388	(d) ダイヤフラム 上	248	-140	289	- 99
1-②	有	458	鋼管頂部	335	-123	335	-123
1-③	有	617	(c)~(d)ダイヤフラム中央	501	-116	514	-103
2-①	無	460	(f) ダイヤフラム 上	325	-135	453	- 7
2-②	有	407	(j) ダイヤフラム 下	327	- 80	404	- 3
2-③	無	550	(j) ダイヤフラム 上	415	-135	531	- 19

し密実な状態で硬化できないためであると推測される。この水平方向からの沈下させまいとする力は、鋼管内面とコンクリートとの摩擦にも大きく影響を受けると考えられる。すなわち、柱2では鋼管が400×400mmと柱1（鋼管700×700mm）に比べ断面が小さいため、鋼管による拘束力が大きく作用し、明確な強度差が見られる結果となったと推測される。しかしながら、この点については、今後追加実験等で検討する必要があると考えられる。

表-6は、各柱のコアの最低強度と封緘養生標準試験体強度を比較したものである。両者の強度差は柱2-②では80kgf/cm<sup>2</sup>程度であったが、他の柱では116~140kgf/cm<sup>2</sup>と大きな差が見られた。

## 5. まとめ

今回の実験から得られたことを以下にまとめる。

- (1)本実験で使用した材料の場合、微粉量（セメント、フライアッシュ、石灰石粉等）を500kg/m<sup>3</sup>程度、高性能AE減水剤の添加量を（C+F）の重量比で2.5%程度とすれば、流動性と材料分離抵抗性を持ったコンクリートが得られる。
- (2)今回開発した充填用コンクリートは、充填型鋼管コンクリート柱の施工に適しており、膨張剤を添加しなくとも鋼管内への充填性は十分確保される。
- (3)膨張剤の使用は充填性をより確実なものとするが、鋼管には膨張圧による応力が残留するため、その使用に際しては、試し練り等によりコンクリート温度と膨張量の関係を十分に把握しておくことが必要である。
- (4)鋼管柱のコンクリートの強度分布は、①膨張剤を添加したコンクリートの場合には柱上部になるに従い強度が低下する傾向があり、②鋼管径が小さな場合（今回の実験では400×400mm）にはダイヤフラム近傍で強度が顕著に低下する傾向がある。
- (5)各鋼管柱のコンクリートの強度分布において、比較的大きく強度が低下している部位が見られることから、鋼管充填用のコンクリートの調合強度決定にあたっては、この強度低下を考慮することが必要であると思われる。