

論文

[1176] コンクリートのポンプ圧入工法に関する研究

大池 武*¹ 中根 淳*²

1. はじめに

ポンプ圧入工法とは、柱のような鉛直部材の下部からコンクリートをポンプで圧入して打設する工法である。この工法の採用により、施工の省力化、工期の短縮などが期待できると同時に、埋め殺し型枠（鋼管柱、薄肉中空コンクリート管）を使用することによって型枠大工などの職人不足に対処できるなどの利点がある。

ここでは、この工法による角型中空鋼管柱の中詰めコンクリートの施工を取り扱う。

中詰めコンクリート充填の目的は、鋼管柱の剛性を高める場合と、剛性の付与のみならず、中詰めコンクリートに軸力をも負担させようとする場合の二つに大別できる。

充填の目的が剛性の付与のみの場合は、内部に障害物がなければ、これまでの施工実績から技術的には十分対応できる。[1][2][3][4] 一方、内部にダイヤフラムを取り付け、これを介して軸力をも負担させようとする場合は、施工上の問題点として、スムーズな圧入施工ができるか、鋼管柱内部で閉塞を生じないかなどの問題に加えて、施工後にコンクリートのブリージング・沈降によってダイヤフラム下端に空隙が発生することをさげねばならず、この部位での充填性の確保が大きな問題[1][2][4]として挙げられる。

本報告は、この充填性の確保に関して、下記の項目について実験的に検討した。

- ① 実験Ⅰ ダイヤフラム形状の影響
- ② 実験Ⅱ コンクリートの調合の影響

2. 実験Ⅰ ダイヤフラム形状の影響

ここでは、ダイヤフラム孔の形状・寸法と下部に発生する空隙深さの関係を把握することを目的とした。

2.1 実験概要

鋼管柱は、10階建程度の建物を想定し、□-450のボックスコラムを使用した。また、既に圧入施工は技術的に可能であることがわかっていること、および課題が圧入後のブリージング・沈降に伴う空隙の発生であることから、高さを5mとして、コンクリートの圧入施工後の挙動の観測を行なった。

内部に取り付けたダイヤフラムの孔の形状は、円形と矩形の2種類とし、寸法は、鋼管径の1/2を直径とする円形(225φ)を基本とし、これより大きい275φと小さい175φ

表-1 実験の組み合わせ(実験Ⅰ)

実験 No	鋼管柱寸法	ダイヤフラム		
		孔の形状	孔の寸法	有無
I-1	□ 450	なし
I-2		四角形	155□	あり
I-3		円形	175φ	
I-4		四角形	200□	
I-5		円形	225φ	
I-6		四角形	245□	
I-7		円形	275φ	

* 1 (株)大林組技術研究所建築第二研究室副主任研究員(正会員)

* 2 同 室長(正会員)

をパラメーターとした。矩形の孔の場合は、円形孔と同じコンクリートとの接触面積となるように孔の大きさを定めた。

実験要因の組み合わせを表-1に、コンクリートを圧入する鋼管柱の形状、ダイヤフラムの位置を図-1に示す。また、ダイヤフラムは、その位置により、以後それぞれAダイヤフラム、Bダイヤフラムと呼ぶ。

この実験に用いたコンクリートは、通常の建築工事に用いる極普通のもので、その強度レベルは呼び強度で210kgf/cm²程度とした。ただし、スランプは高性能A E減水剤を用いて21cmとした。この調合を表-2に示す。

測定項目は、コンクリートの諸物性、鋼管柱頭部でのブリージング量、沈降量およびダイヤフラム下端の空隙深さである。空隙深さは、ダイヤフラム部を含む鋼管柱の一部をカッターで切断して直接調査した。なお、空隙深さは図-2に示すように、ダイヤフラム下面とコンクリートとの距離で表示した。

2.3 実験結果と考察

実験に用いたコンクリートの物性を表-3に示した。1本あたりの圧入時間は3分程度であり、目標とした圧入速度20m³/hrで順調に施工することができた。

柱頭部でのブリージング、沈降量およびダイヤフラム下端の空隙の測定結果を図-3に示す。図中の空隙深さは、切断面での最大値と最小値で示した。写真-1は、ダイヤフラム下端の空隙量調査の一例である。

柱頭部でのブリージング量は、ダイヤフラムの有無によって異なり、ダイヤフラム有りのもののほうが小さくなっている。これは、ダイヤフラムによってブリージング水の柱頭部への上昇が抑制されたためと考える。一方、ダイヤフラム孔の大きさとブリージング量との間には顕著な傾向は見られなかった。

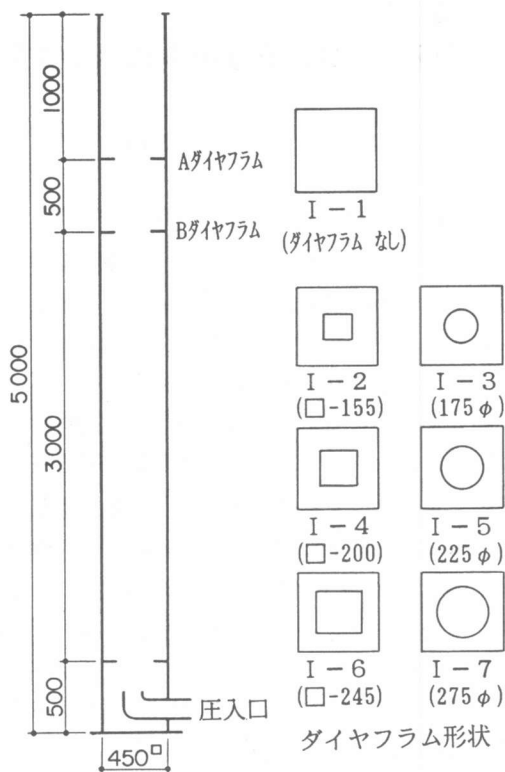


図-1 鋼管柱の形状・寸法 (実験 I)

表-2 コンクリートの調合 (実験 I)

W/C (%)	S/A (%)	重量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	AD
58.1	52.5	179	308	937	878	2.3%

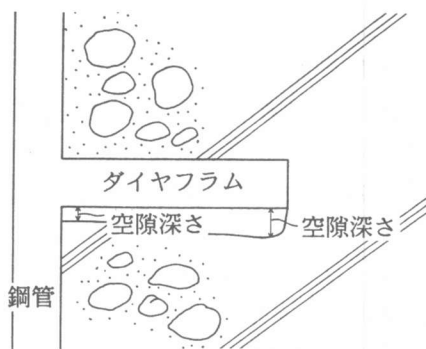


図-2 空隙深さの評価方法

表-3 コンクリートの物性 (実験 I)

まだ固まらないコンクリートの性質				圧縮強度 (kgf/cm ²)		
スランプ (cm)	フロー (mm)	空気量 (%)	温度 (°C)	材令		
				1W	4W	13W
23.1	465×450	4.5	26.0	218	298	342

柱頭部での沈降量についても、ダイヤフラムの有無によって異なり、当然のことながらダイヤフラム有りのほうが沈降量が小さくなっている。これも、ダイヤフラムによってコンクリートの沈降が抑制されたためと考える。また、ダイヤフラム孔の大きいほうが沈降量が大きくなる傾向が見られる。

空隙は、すべての鋼管柱で見られた。また、ダイヤフラム下端の空隙深さは、梁上にあたるAダイヤフラム、梁下にあたるBダイヤフラムともに、ダイヤフラム孔が大きくなるほど小さくなる傾向が見られる。この傾向はBダイヤフラムのほうが顕著である。これは、ダイヤフラム孔の大きいほうがコンクリートの沈降への抑制が小さくなるためと考える。さらに、A、Bの両ダイヤフラムでの空隙深さを比較すると、Bダイヤフラムのほうが大きくなる傾向が見られる。これは、ダイヤフラムによってコンクリートのブリージング・沈降が抑制される間隔（Aでは梁丈、Bでは階高）の大小に関係していると言える。

なお、ダイヤフラム孔が円形か矩形かの違いによるブリージング量、沈降量および空隙深さに顕著な差はなかった。

以上から、ダイヤフラム下端に生じる空隙は、ブリージングとこれに伴う沈降の影響が極めて大きく、普通のコンクリートを用いたときはダイヤフラムの形状・寸法を変えただけでは対処しきれないと言える。これより、ダイヤフラム下端の充填性は、コンクリートの調合上の対策により検討する必要があると考える。

3. 実験Ⅱ コンクリートの調合の影響

実験Ⅰに引き続き、ここでは、圧入後のブリージングとそれに伴う沈降の発生に対して、コンクリートの調合上の対策によりダイヤフラム下端の充填性がどの程度改善できるかを調査した。

3.1 調合上の対策

対策としては、圧入施工後にブリージング・沈降の発生を、コンクリートの保水性を高め、水分移動を小さくして抑える方法と、ブリージング・沈降は生じるもの

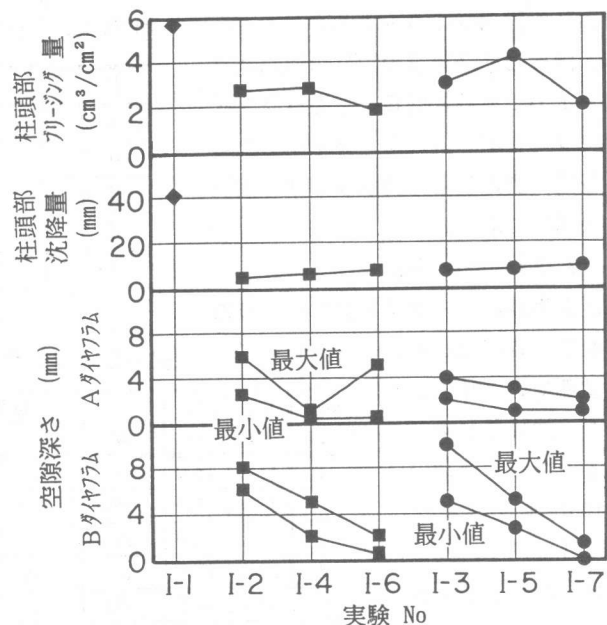


図-3 柱頭部ブリージング量・沈降量および空隙深さ（実験Ⅰ）

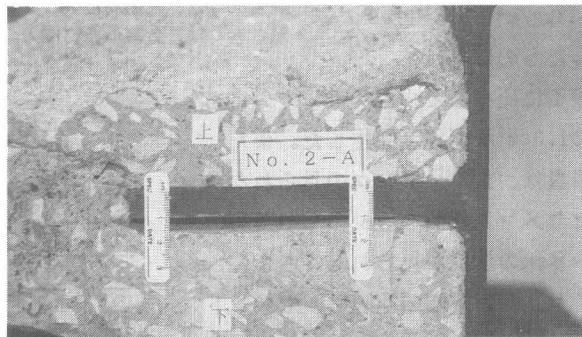


写真-1 空隙調査例（実験Ⅰ）

の、コンクリートを膨張させ空隙を充填する方法などが考えられる。ここでは、低水セメント比化（単位水量の低減）および分離低減材を用いてコンクリートの保水性を高める方法と、特殊処理アルミニウム粉末の発泡による膨張コンクリートを用いる方法について検討した。なお、これらのコンクリートの目標性能は、スランブ $21 \pm 1.5 \text{ cm}$ 、スランブ試験時のフロー 300 mm 以上、空気量 $4 \pm 1 \%$ とした。

3.2 実験概要

実験の要因は、調合上の対策を主眼とし、表-4には実験の組み合わせを、表-5には試験練りによって定めたコンクリートの調合をそれぞれ示した。調合上の対策のうち、コンクリートの低水セメント比化については、セメント量の差による影響を見るため、単位セメント量を350、450、533 kg/m^3 の3種類とした。

施工実験に用いた鋼管柱は、実験Iと同じく \square -450のボックスコラムであり、内部には鋼管径の1/2の円形孔（図-1のI-5と同じ）をもったダイヤフラムを取り付けた。ダイヤフラムの位置、測定項目、方法などは、実験Iと同じである。

3.3 実験結果と考察

圧入実験に用いたコンクリートの物性を表-6に示した。柱頭部でのブリーディング、沈降量およびダイヤフラム下端の空隙の測定結果を図-4に示す。

1) 低水セメント比化

柱頭部でのブリーディングは、セメント量 533 kg/m^3 、 $W/C=30\%$ としたもの以外は、

実験Iに比べると少なくなっているものの $1.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 程度発生した。また、沈降量は、ブリーディングの見られなかったセメント量 533 kg/m^3 のものでも、 $7 \sim 8 \text{ mm}$ の沈降が見られた。さらに、ダイヤフラム下端の空隙は、セメント量を 533 kg/m^3 としたものは、沈降量がやや大きく空隙の発生を懸念したが、A、Bダイヤフラムともに空隙は見ら

表-4 実験の組み合わせ（実験II）

実験 No	調合 No	調合上の対策	
		セメント量	混和材の有無
II-1	1	350	無
II-2	2	450	無
II-3	3	533	無
II-4			
II-5	4	300	有（膨張材）
II-6	5	300	有（分離低減材）

表-5 コンクリートの調合（実験II）

調合 No	W/C (%)	S/a (%)	重量 (kg/m^3)				混和剤			
			W	C	S	G	A	B	C	D
1	47.1	48.0	165	350	856	961	1.8	.002	-	-
2	36.7	45.0	165	450	767	969	2.0	.003	-	-
3	30.0	38.0	160	533	626	1056	2.5	.007	-	-
4	58.0	47.9	181	310	851	959	-	.002	1.25	-
5	58.0	47.9	181	310	851	959	-	-	1.25	1.5

注)・A:高性能AE減水剤 (pozz社製) B:補助AE剤 (pozz社製)
 C:AE減水剤 (pozz社製) D:メラミン系流動化剤 (pozz社製)
 上記の混和剤の使用量は、セメント質量に対する百分率で示した。
 ・調合No1~3は、低水セメント比化コンクリート。
 ・調合No4は、膨張材混入コンクリートで、膨張材使用量は 3 g/m^3 。
 ・調合No5は、分離低減材混入コンクリートで、分離低減材使用量は 0.5 kg/m^3 。

表-6 コンクリートの物性（実験II）

調合 No	まだ固まらないコンクリートの性質				圧縮強度	
	スランブ (cm)	フロー (mm)	空気量 (%)	温度 $^{\circ}\text{C}$	1週	4週
1	21.0	360×350	1.7	27.0	278	407
2	21.5	370×355	2.0	28.0	427	526
3	23.5	430×425	4.7	-	604*	642
4	24.0	510×480	2.7	27.0	150	241
5	21.5	390×380	3.0	26.5	178	282

* 材令2週の強度試験値

れなかった。一方、これ以外のものは、A、Bダイヤフラムともに空隙が発生していた。両ダイヤフラムの空隙発生量の傾向は実験Ⅰと同様である。以上から、単位セメント量を多くし、単位水量を少なくすることによって保水性を高める対策では、セメント量を最低でも500kg/m³以上にするとともに、水セメント比を30%以下にしなければダイヤフラム下端の充填性の確保が難しいものと考えられる。

2) 膨張材混入コンクリート

膨張材を使用することを除き、調査そのものが実験Ⅰに用いたコンクリートと大差ないことから、柱頭部のブリージング量も実験Ⅰとほとんど同じであった。ブリージングの発生と同時に沈降が生じ、その後、特殊処理アルミニウム粉末の発泡によってコンクリート天端が上昇する状況が見られた。しかし、ブリージングに伴う沈降をカバーするまでの膨張とはなっていなかった。このため、A、B両ダイヤフラムの下端に空隙が見られた。

3) 分離低減材混入コンクリート

柱頭部でのブリージングが全く見られなかった。また、沈降量も極わずかであり、ダイヤフラム下端にも空隙の発生はなかった。この状況を写真-2に示す。

この実験では、ダイヤフラム下端の状態を外部から観察できるように図-5に示す孔を設けた。これは、圧入施工時には孔にプラグをネジ込んでおき、圧入施工の翌日以降にプラグを外して内部を確認しようとするものである。

空隙は、目視による方法と、一つの孔から気体あるいは液体を送

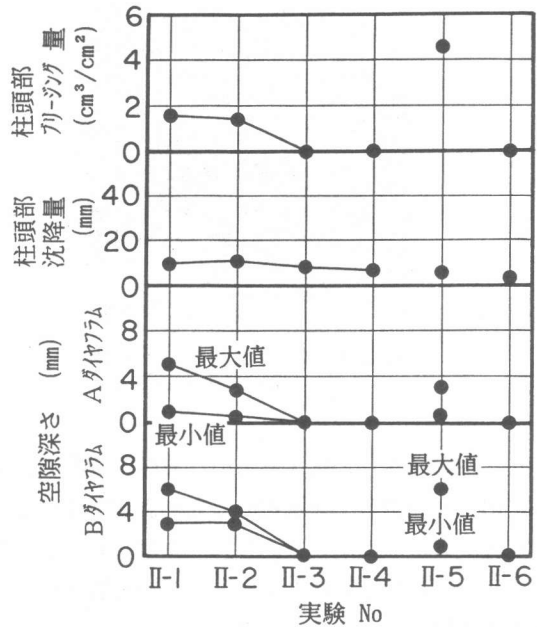


図-4 柱頭部ブリージング量・沈降量および空隙深さ(実験Ⅱ)

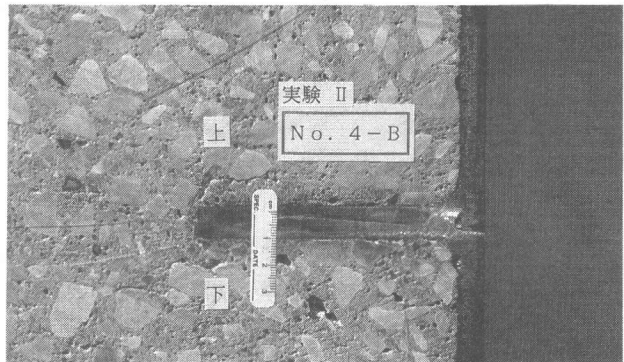


写真-2 空隙調査例(実験Ⅱ)

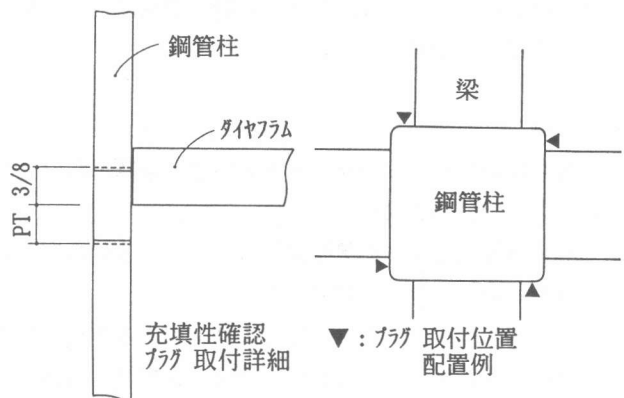


図-5 充填性確認孔詳細と配置例

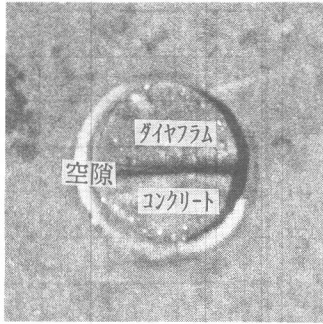


写真-3 観察孔からの空隙
調査例 (実験Ⅱ)

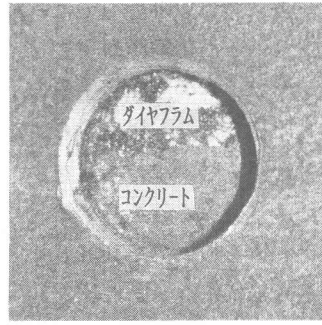


写真-4 観察孔からの空隙
調査例 (実験Ⅱ)

り込み他の孔からの気体あるいは液体の漏れの有無によって調査できる。もし、空隙がある場合はこの孔を利用して充填材の注入による補修ができる可能性もある。この方法での観察結果の例を写真-3、4に示した。写真-3は、ダイヤフラム下端に空隙がある状況を、写真-4はダイヤフラム下端に密実にコンクリートが充填されている状況を観察できる。これより、この孔から空隙の有無が判定できると考える。

以上から、ダイヤフラム下端の充填性は、調合上の対策、すなわち、コンクリートを低水セメント比化コンクリート、分離低減材混入コンクリートとすることによって改善できると言える。さらに、確認孔による充填性のチェック方法の実用化が可能であると考ええる。

4. まとめ

鋼管柱中詰めコンクリートに軸力をも負担させる場合に問題となるダイヤフラム下端の充填性について、ポンプ圧入工法を用いて実験的に検討した。これより、以下のことを明らかにした。

- ①. 一般の建築工事に用いる通常強度レベルのコンクリートの場合、ダイヤフラム下端の空隙は、ブリージングとこれに伴う沈降が支配的要素なり、ダイヤフラムの形状・寸法を変えただけでは対処できないことを明らかにした。
- ②. ダイヤフラム下端の充填性は、コンクリートの調合上の対策（低水セメント比化、分離低減材の採用）により確保できることを明らかにした。
- ③. 施工後の空隙の確認ならびに補修方法については、事前に確認孔を設けることにより可能であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 雑喉良介ほか：コンクリート充填鋼管構造の利用技術開発、製鉄研究、第355号、pp.58-64、1989.10
- 2) 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、pp.935-936、1989.10
- 3) 中根淳、大池武：ポンプ圧入工法に関する実験的研究（その1 階高の高いRC造・SRC造柱の試験施工）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.959-960、1991.9
- 4) 中根淳、大池武ほか：ポンプ圧入工法に関する実験的研究（その2、その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.745-748、1992.8