

報告 高流動コンクリートを用いたコンクリート充填鋼管柱の 圧入施工実験

岩沢 徹^{*1}・中田 善久^{*2}・河野 昭雄^{*3}・毛見 虎雄^{*4}

要旨:本報告は、コンクリート充填鋼管柱(CFT)の圧入施工によるコンクリートの充填性を調べるために、钢管柱におけるダイアフラムの開口を150φおよび250φの2種類とし、高流動コンクリートを用いた圧入施工実験を行った結果について述べたものである。コンクリートの充填性は、高流動コンクリートのW/Cが低いほど良好であり、ダイアフラムの開口面積率に依存しているのではなく、钢管柱断面に対する絶対開口面積に関係深いことを明らかにした。

キーワード:CFT, 高流動コンクリート, 圧入施工, 充填性, ダイアフラム開口面積

1. はじめに

近年、コンクリート充填钢管柱（以下、本報告ではCFTと呼ぶ）は、構造性能、耐火性能および施工性の合理化などのメリットから高層建築の新しい構造形式として注目を浴びている。このCFTは、钢管内にコンクリートを充填した構造形式であり、所要の構造性能を発揮するためにはコンクリートが钢管内に十分に充填されなければならない。一般的に、コンクリートの充填方法は、钢管柱の下部に充填口を設け、コンクリートポンプにより圧入する方法が多く見られるが、この場合、钢管柱内の柱梁接合部においてダイアフラムが存在するため、ダイアフラムに開口を設けたとしてもダイアフラムの下面に空隙発生の可能性がある。したがって、この充填するコンクリートは、ポンプ圧送性、分離低減性および圧入性等の性能が要求されている。一方、CFTの構造耐力は、ダイアフラムの開口面積に左右され、開口面積が大きくなるほど柱梁接合部での耐力低下につながる。ダイアフラムの開口面積が大きい場合は、必要耐力を確保するためには、ダイアフラムを厚くする、外ダイアフラムを設けるなどの対応をとらなければならない。しかし、有孔ダイアフラム形式を対象とする場合には、施工面からコンクリートが圧入時に閉塞しないためのダイアフラムの開口面積が必要になってくる。

現在、「CFT構造技術指針・同解説」[1]（以下技術指針と呼ぶ）ではダイアフラム開口面積率を15%以上で施工を行うように提言されているが、既往の文献[2]においても15~20%の開口面積率が多く、30~40%の開口面積率で施工されているものもあり施工性を重視しているのが現状である。一般的に充填するコンクリートは、施工性および充填性に優れている高流動コンクリートが用いられているが、ダイアフラムの開口面積と高流動コンクリートの充填性の関係は明確にされておらず、充填後のコンクリートの品質も不明確な点が多い。

そこで、本報告は、钢管柱のダイアフラムの開口面積と高流動コンクリートの充填性との関係を把握するために、柱断面に対するダイアフラムの開口面積率を10%とし、高さ12mの钢管柱に高流動コンクリートと普通コンクリートとを用いたポンプ圧入施工実験を行い、その結果について検討したものである。

*1 西松建設(株) 技術研究所 研究員, (正会員)

*2 西松建設(株) 技術研究所 研究員, 工修(正会員)

*3 熊本工業大学工学部建築学科 助教授, 工博(正会員)

*4 足利工業大学工学部建築学科 教授, 工博(正会員)

2. 実験概要

実験は、高さ12m（3層分）の角形鋼管柱に高流動コンクリートあるいは普通コンクリートを水平配管120mに圧送した後、钢管柱にポンプ圧入したものである。実験目的は①コンクリートの調合検討、②ポンプ圧送・圧入によるコンクリート品質変化、③コンクリート圧縮強度、④コンクリートの充填状況および⑤ポンプ圧送・圧入負荷について調べたことである。

2.1 実験計画

(1) 実験変数

実験変数を表-1に示す。钢管柱は、合計で9体で（試験体No.1～No.9）、これらは2種類の钢管断面を有する。コンクリートの吐出量は、10, 30m³/hの2種類を設定し、水平換算の配管距離を全て約120mとした。

(2) コンクリート調合

充填するコンクリートは、高炉セメントB種でブリーディング0cm³/cm³を目標とした普通コンクリート（設計基準強度27N/mm², W/C=53%の目標スランプ21±1.5cm），高流動コンクリート（設計基準強度42N/mm², W/C=40%，設計基準強度48N/mm², W/C=35%および設計基準強度60N/mm², W/C=29%の目標スランプフロー60±5cm）の4種類の調合を検討した。使用材料およびコンクリート調合を表-2に示す。

(3) 試験体の形状および寸法

試験体の形状および寸法を図-1に示す。□-750×750×28の試験体ではダイアフラムの開口径を250φ（開口率10%）、□-450×450×19の試験体では開口径150φ（開口率10%）とし、30φの空気孔を四隅に開けている。ダイアフラムは、一試験体当たり6カ所設置し、ダイアフラムの間隔は試験体により異なる。CFTの圧入口は钢管内にペント管を設け、コンクリートが钢管内で噴き上がるようとした。

(4) ポンプ配管

ポンプ計画を図-2に示す。輸送管は125A管を使用し、水平部が約100m、鉛直部が2mと

表-2 使用材料およびコンクリート調合

| 番号 | 粗骨材の最大寸法(mm) | 目標スランプフローコン(cm) | 目標空気量(%) | 水セメント比(%) | 細骨材率(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | 高性能AE減水剤量(C×%) | 分離低減剤量(W×%) |
|----|--------------|------------------|----------|-----------|---------|-------------------------|-------|------|------|----------------|-------------|
| | | | | | | 水W | セメントC | 細骨材S | 粗骨材G | | |
| A | 20 | 21 ^{*6} | 4.5 | 53 | 50.1 | 180 | 340 | 861 | 886 | 0.9 | 0.2 |
| B | 20 | 60 | 4.5 | 40 | 52.2 | 170 | 425 | 880 | 819 | 1.7 | 0.15 |
| C | 20 | 60 | 4.5 | 35 | 50.7 | 170 | 486 | 827 | 819 | 1.3 | 0.1 |
| D | 20 | 60 | 4.5 | 29 | 48.0 | 170 | 586 | 741 | 819 | 1.1 | 0.1 |

*1；セメント：高炉セメントB種、比重3.04, *2；細骨材：碎砂：細砂=8:2, 表乾比重2.61, 吸水率1.33%, 粗粒率2.75, *3；粗骨材：最大寸法碎石20mm, 表乾比重2.66, 吸水率0.583%, 粗粒率6.75, *4；混和剤：高性能AE減水剤「ポリカルボン酸系」, *5；分離低減剤：微生物系, *6；スランプ(cm)

し、先端はフレキシブルホース3mに、調整管および逆流止め装置を介して鋼管柱の圧入口に接続している。配管には各所に圧力センサー（フランジ式）を12カ所で取付け、管内圧力を計測した。コンクリートポンプ車はIPG115B-8E26/4を使用し、最大吐出量115m³/h、最大理論吐出圧力7.1MPa(71.8kg/cm²)である。

（5）圧送・圧入方法

実験作業の流れを図-3に示す。コンクリートは、生コンプレントにおいて強制2軸ミキサを用いて製造し、現場まで運搬した。運搬時間は10~30分程度である。圧送開始時に、先送りモルタル0.5m³をホッパに投入し、筒先で安定したコンクリートが目視によって確認できるまでコンクリートを破棄した後に、鋼管柱内に圧入した。コンクリートの圧送速度は鋼管内を1m/min以下で充填できる速度とし、□750×750では吐出量を30m³/h、□450×450では10m³/hに設定した。鋼管内にコンクリートを充填させた後に、コンクリート逆流止め装置で圧入口を止めた。

2.2 実験項目

実験項目および方法を表-3にまとめて示しており、その詳細は以下のようである。

（1）フレッシュコンクリートの品質

フレッシュコンクリートの品質試験は出荷時、荷卸時、鋼管圧入口（筒先）および鋼管天端から採取したコンクリートをスランプ、スランプフロー、空気量およびコンクリート温度について行った。

（2）コンクリート圧縮強度

コンクリート圧縮強度は、管理用供試体（標準養生、材齢7, 28日）として、出荷時、荷卸時、筒先および鋼管天端とし、構造体コンクリートとして（材齢28日）コア供試体は、柱断面の横方向から1試験体につき、最大で12本採取した。

（3）ダイアフラム下面の充填状況

ダイアフラム下面の充填状況は、柱梁接合部を柱軸方向にダイヤモンドカッターで切断し、ダイアフラム下面とコンクリートとの隙間を目視により確認した。

表-3 実験項目および方法

| 試験項目 | 試験方法 | 試験箇所 | | | |
|-------------|-------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 出荷時 (プラント) | 荷卸時 (圧送前) | 筒先 (圧入前) | 鋼管天端 (圧入後) |
| コンクリートの品質 | スランプ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | スランプフロー | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 空気量 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | コンクリート温度 | 温度計 | ○ | ○ | ○ |
| コンクリート強度 | 標準水中養生 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | コア強度 | — | — | — | ○ |
| コンクリートの充填状況 | ダイアフラム下面の空隙 | — | — | — | ○ |
| 施工性 | 圧送・圧入負荷 | — | — | 圧送開始から圧入終了まで | — |

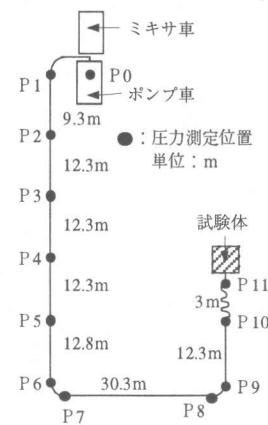


図-2 ポンプ計画

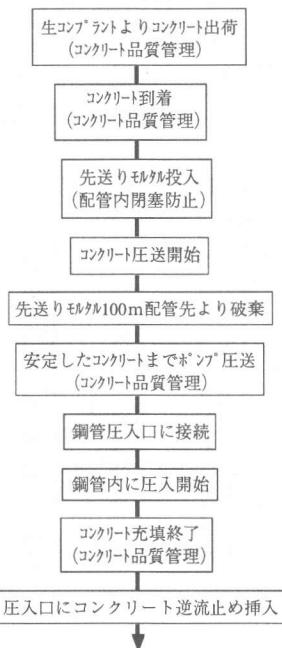


図-3 実験作業の流れ

3. 実験結果および考察

(1) 実験結果

実験終了時の各試験体のコンクリート充填状況を図-4に示す。試験体No.1は、8m付近の位置にある2層目のダイアフラム上部で閉塞し、コンクリートの圧入が不可能であった。試験体No.2とNo.4は、2層目のダイアフラムを通過したが9.5mの位置で閉塞し、コンクリートの圧入が不可能であった。その他の試験体は3層、12mまでコンクリートの圧入が可能であった。

(2) コンクリートの品質

コンクリートの品質試験の結果を表-4に示す。スランプあるいはスランプフローは、出荷時に比べて、筒先ではほとんど低下が見られなかつたが、鋼管天端では、スランプフローが最大で18cm、平均で4cm低下した。筒先でスランプフローの低下が少ないので、先送りモルタルが配管内に付着しているためであり、鋼管天端でスランプフローの低下が見られるのは、鋼管柱に充填するコンクリートのモルタルが鋼管に付着したためと考えられる。空気量は、出荷時に比べて鋼管天端で若干増加する傾向にあるが、顕著ではなかつた。スランプフローおよび空気量の圧送、圧入による品質変化は、既往の文献[2]で見られた傾向と同様であった。

(3) 圧送・圧入負荷

配管距離と管内圧力との関係を図-5に示す。管内圧力は配管距離と深い関係があり、ほぼ直線的に表せる。圧入開始前の管内圧力と圧入開始後の管内圧力を比較すると、圧入を開始した

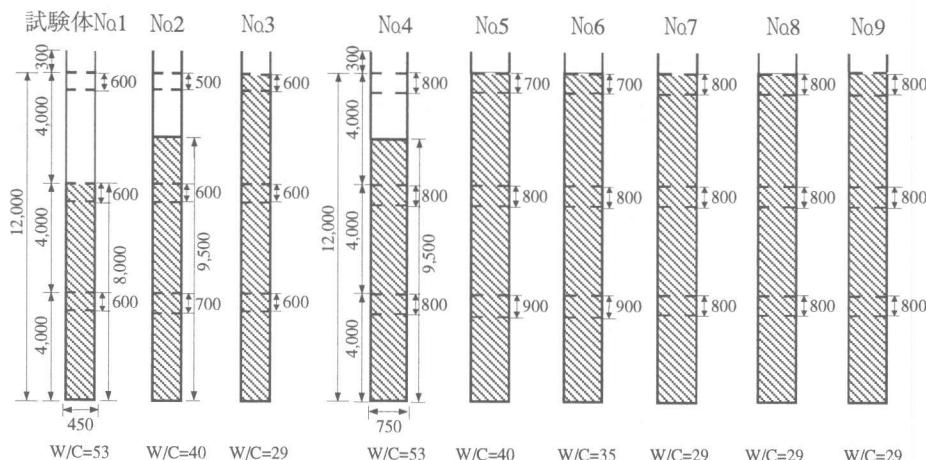


図-4 コンクリート充填状況

表-4 コンクリートの品質変化

(a) スランプ、スランプフロー

| 試験体No. | 出荷時 cm×cm | 荷卸時 cm×cm | 筒先 cm×cm | 鋼管天端 cm×cm |
|--------|--------------|--------------|-------------|---------------|
| 1 | 21.5 | 20.5 | 20.5 | — |
| 2 | 66×64 | 59×56 | 55×55 | — |
| 3 | 68×65 | 58×55 | 55×54 | 47×46 |
| 4 | 22.5 | 20.5 | 19.5 | — |
| 5 | 60×58 | 63×60 | 64×61 | 58×58 |
| 6 | 66×66 | 61×60 | 58×58 | 60×60 |
| 7 | 69×70 | 69×67 | 70×70 | 65×66 |
| 8 | 57×57 | 63×61 | 58×56 | 45×46 |
| 9 | 70×68 | 63×65 | 70×69 | 69×68 |

(b) 空気量

| 試験体No | 出荷時 % | 荷卸時 % | 筒先 % | 鋼管天端 % |
|-------|----------|----------|---------|-----------|
| 1 | 5.6 | 3.4 | 4.3 | — |
| 2 | 7.2 | 6.5 | 6.6 | — |
| 3 | 6.2 | 3.7 | 6.2 | 4.9 |
| 4 | 3.6 | 3.4 | 3.1 | — |
| 5 | 3.5 | 4.1 | 3.8 | 4 |
| 6 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5 |
| 7 | 6 | 6.9 | 6.7 | 8 |
| 8 | 4 | 4.1 | 4.7 | 5.1 |
| 9 | 6.3 | 6 | 6.2 | 6.4 |

後、圧力の上昇がみられた。これは、鋼管内に充填されたコンクリートの自重によるもので、圧入高さに比例して大きくなり、ほぼ液圧換算した値であった[3]。したがって、実際の圧送および圧入施工を行う場合は、圧送負荷と圧入負荷の同時の評価が必要である。また、吐出量10, 30 m³/hともにW/Cが低いほど管内圧力が高い傾向にあった。これはコンクリートの単位セメント量などによる粘性の影響と考えられ、コンクリート調合の違いによる圧送・圧入負荷に関しても検討が必要である。

(4) 充填状況

コンクリートの充填状況を写真-1に示す（試験体No 8の1層目）。ほとんどの試験体で、ダイアフラム下面の沈降が見られず、十分に充填されていることがわかった。また、鋼管下部の1層部分が、その他の上層部分より若干の沈降がダイアフラムに見られたが、これはコンクリートの自重の影響と考えられる。

(5) コンクリート圧縮強度

管理用供試体の結果を表-5に示す。管理用供試体は28日で設計基準強度を満足していた。コア供試体の採取位置と圧縮強度比を図-6に示す。圧縮強度比は、鋼管の一番上で採取したコア供試体の圧縮強度を基準として、各箇所の強度比を求めている。コア供試体は管理用供試体より5%程度低い強度となった。各試験体とも鋼管下部での強度比が高くなっているが、これは、鋼管下部ほどコンクリートの自重が大きくなり、コンクリートが密実に硬化するためと考えられる。また、ダイアフラム前後で強度比にばらつきが生じていた。これは、コンクリートがダイアフラムを通過する際に影響を受けるためだと考えられる。また、W/Cが低いほど強度比のばらつきが少なかった。

(6) 開口面積とコンクリートの充填性

高流動コンクリートを用いた□750の試験体では、コンクリートを十分に充填することができ、コンクリートの品質変化および強度比のばらつきも小さくCFTに充填するコンクリートととして適していると考えられる。しかし、□450の試験体No 2は、高流動コンクリートであるが、9.5mの時点で閉塞した。これは、□450の試験体は、ダイアフラムの開口が150φであり、□750の開口250φよりも面積が小さいためと考えられる。また、同じ高流動コンクリートでも試験体No 3は圧入できたことから、コンクリートの単位セメント量の影響による鋼管柱の圧入時に生じる摩擦抵抗などが考えられる。さらに、普通コンクリートの試験体No 1およびNo 4でも開口面積によって充填高さが変わっている。これは、同じ10%の開口面積率で、同じ調合の試験体にもかかわらず、充填高

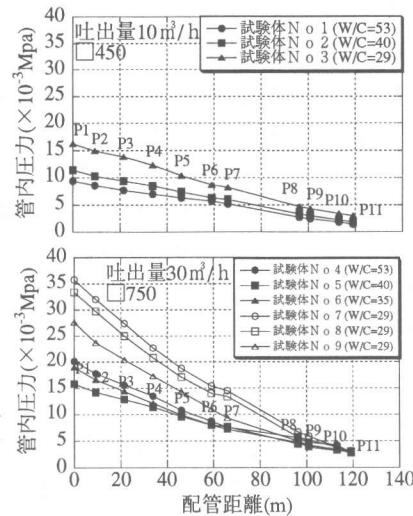


図-5 配管距離と管内圧力

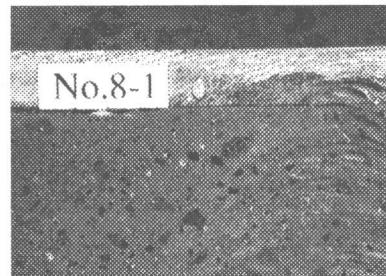


写真-1 ダイアフラム下面の充填状況

表-5 管理用試験体圧縮強度

| 試験体No | 出荷時 N/mm² | 荷卸時 N/mm² | 筒先 N/mm² | 鋼管天端 N/mm² |
|-------|--------------|--------------|-------------|---------------|
| 1 | 32.4 | 34.2 | 36.6 | — |
| 2 | 44.6 | 46.1 | 48.6 | — |
| 3 | 67 | 66.4 | 65.2 | 68.7 |
| 4 | 36.8 | 38.8 | 38.1 | — |
| 5 | 44.2 | 45.6 | 45 | 49.4 |
| 6 | 56.4 | 52.8 | 58.6 | 58.6 |
| 7 | 63.2 | 61.6 | 58.4 | 53.6 |
| 8 | 72 | 76.4 | 75.8 | 63.9 |
| 9 | 66.3 | 69.6 | 64 | 69.1 |

さが変わっていることから、CFTの充填性は開口面積率に必ずしも依存していないと思われる。したがって、ダイアフラムの開口面積率を技術指針[1]で示されている15%確保することで、CFTへの充填性が確定されるのではなく、コンクリートの充填性は、CFTの規模による絶対的な開口面積の大きさが必要であり、両者には密接な関係があると考えられる。さらに、充填された試験体においても、この開口面積による圧入可能な高さが予想され、開口面積と圧入高さとの関係も、開口面積とコンクリートの充填性同様に検討が必要であると考えられる。

4.まとめ

CFT実験から得られた結果を以下に示す。

- (1) コンクリートの品質変化は、圧送ではほとんど見られず、鋼管圧入で変化がみられた。
 - (2) 鋼管柱圧入によりさらに管内圧力が高くなる。その値はほぼ液圧と等しく、圧入施工を行う場合は、圧送負荷だけでなく、圧入負荷も十分に検討する必要がある。
 - (3) 圧送および圧入負荷は、W/Cが低いほど負荷が高くなる傾向にあった。
 - (4) コンクリートの充填は、高流動コンクリートを用いた場合、W/Cの値が低いほど充填性がよく、ほとんど空隙がなく充填することができた。鋼管下部の1層部分が、その他の上層部分に比べて、ダイアフラムの下面に空隙が見られた。
 - (5) 鋼管柱の強度比は鋼管下部ほど高かった。また、強度比のばらつきがダイアフラム前後でみられ、W/Cの値が低いほど強度比のばらつきが少なかった。
 - (6) 開口面積とコンクリートの充填性は、鋼管柱のダイアフラムの開口面積率より絶対的な開口面積の方が密接な関係があると思われる。
- 高流動コンクリートを用いたCFTのコンクリートの充填性は、ダイアフラムの開口面積率より開口面積に大きく依存していることを明らかにした。今後は、開口面積と圧入可能な高さの関係について検討していきたい。

参考文献

- [1] (社)新都市ハウジング協会: CFT構造技術指針・同解説, p.75, 1996
- [2] 岩沢, 中田ほか: コンクリートポンプによるCFT(コンクリート充填鋼管柱)の圧入工法に関する文献調査, 日本大学生産工学部第29回学術講演会建築部会, p.43-p.46, 1996
- [3] 日本建築学会: コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 1994

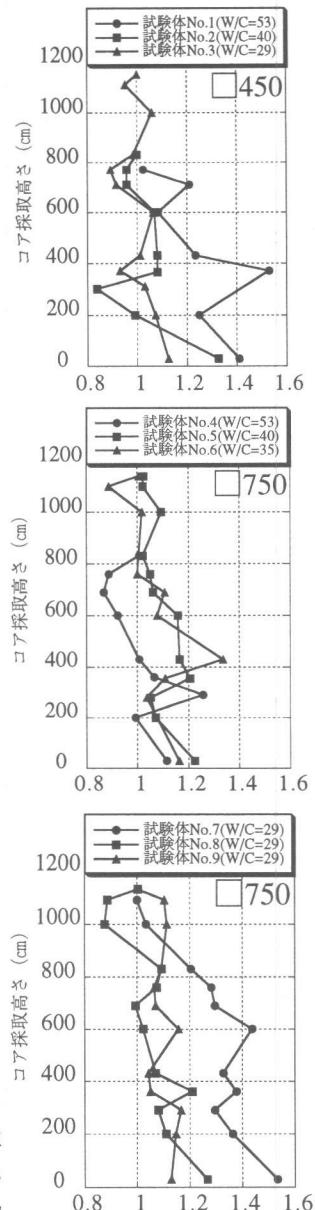


図-6 強度分布比