コンクリートの種類がCFTの 圧入高さに及ぼす影響について

INFLUENCE OF TYPE OF CONCRETE ON INJECTION HEIGHT OF CFT

岩沢 徹 —*1 中田善久 —*2
毛見虎雄 —*3 河野昭雄 —*4
高野 肇 —*5

Tetsu IWASAWA —*1 Yoshihisa NAKATA —*2
Torao KEMI —*3 Akio KAWANO —*4
Hajime TAKANO —*5

キーワード:

コンクリート充填鋼管, 水セメント比, 調合, 充填性, ダイアフラム, 圧入高さ

Keywords:

Concrete filled square hollow section column, Water-cement ratio, Mix proportion, filling Capability, Opening area of diaphragm, Pushing up

This paper deals with filling capabilities of concretes injected into CFT columns. Bibliographies related to current CFT injection technologies were widely reviewed and the filling capability was analyzed. Based on this background, normal and high-fluidity concretes were injected into two types of steel tubular columns, and effects of the type of concrete on the injection height in the steel columns were studied. The filling capability of concretes became more satisfactory when the high-fluidity concrete was used at a low water-cement ratio, and greatly influenced by the opening area of diaphragm with respect to the cross section of the steel columns.

1. まえがき

近年、コンクリート充填鋼管柱（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として注目を浴びている。このCFTは、鋼管内にコンクリートを充填した構造であり、構造設計の要求性能によって異なるが、コンクリートが鋼管内に十分に充填されなければならない。また、CFTへのコンクリート充填技術は、高流動コンクリートの開発によりめざましく進歩してきている。一般的に、CFTへのコンクリートの充填方法は、鋼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採用されている。しかし、鋼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、コンクリートが硬化したときに、ダイアフラムの下面に空隙が発生する可能性を生じる。したがって、鋼管柱内に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る。このCFTへのコンクリート充填性の向上は、施工方法の面からコンクリートの品質を向上させることおよびダイアフラムの開口面積を大きくすることがあげられる。このCFTの構造耐力は、ダイアフラムの開口面積が大きくなるほど柱梁接合部における耐力の低下につながる¹⁾。ダイアフラムの開口面積が大きい場合は、必要な耐力を確保するために、ダイアフラムの板厚を厚くする、外ダイアフラムを設けるなどの対応をとる必要がある。

現在、「CFT構造技術指針・同解説」²⁾（以下、技術指針と呼ぶ）では、柱断面積に対するダイアフラムの開口面積率を15%以上にするように定められており、ダイアフラムの開口面積率を大きくすることにより、充填性ならびに施工性を向上させているのが現状

である。このCFTへのコンクリートの充填技術におけるコンクリートの調合、ダイアフラムの開口面積、高流動コンクリートの充填性および鋼管柱の圧入高さの関係等については個々の実験研究は多いものの、これらの条件を踏まえた一連の研究はなされていない。

そこで、本報告は、CFTへのコンクリートの充填技術として水セメント比の異なるコンクリートが鋼管圧入高さに及ぼす影響を明らかにするために圧入施工実験を行ったものである。ここでは、柱断面積に対するダイアフラムの開口面積率を10%とし、高さ12mの鋼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て圧入施工実験を行い、コンクリートの種類が鋼管圧入高さに及ぼす影響についてコンクリートの性状、充填性等の考慮を加えながら検討したものである。

2. 既往の研究と本研究との関係

CFTコンクリート充填技術の現状を把握するために、ポンプ圧入施工実験に関するCFTの文献調査を行った。文献調査の対象範囲は、1989～1996年における日本建築学会大会学術講演会梗概集、コンクリート工学年次論文報告集、建築技術および各建設会社技術研究所報において発表されたCFTの圧入に関する文献（59件^{3), 4)}）より、公表されたデータを用いた。既往の研究におけるCFTへのコンクリート充填技術を①鋼管寸法とダイアフラムの開口面積の関係、②ダイアフラムの開口面積率とダイアフラムの開口面積の関係③ダイアフラムの開口面積率と鋼管圧入高さの関係、④ダイアフラムの開口面積率と鋼管圧入高さの関係および⑤水セメント比と鋼管圧入高さの関係の5項目について調査した。

*1 西松建設東京建築支店
(〒105-0001 港区虎ノ門1-20-10)

*2 西松建設東京建築支店 工修

*3 足利工業大学工学部建築学科 教授・工博

*4 熊本工業大学工学部建築学科 教授・工博

*5 山宗化学技術部

*1 Nishimatsu Construction Co., Ltd. Tokyo Construction Branch

*2 Nishimatsu Construction Co., Ltd. Tokyo Construction Branch, M. Eng.

*3 Prof., Dept. of Architecture, Faculty Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Dr. Eng.

*4 Prof., Dept. of Architecture, Faculty Engineering, Kumamoto Institute of Technology, Dr. Eng.

*5 Yamasou Chemical Co., Ltd. Technical Department

(1) 鋼管幅とダイアフラムの開口面積の関係 (図1)

既往の研究について実施工と模擬柱の実験に分類した。なお、図中の曲線は、ダイアフラムの開口面積率を示す。実施工は、鋼管幅50~60cmに対してダイアフラムの開口面積400~500cm²が多く、ほとんどがダイアフラムの開口面積率15%以上で行われていた。模擬柱は、幅広く実験が行われていた。

(2) ダイアフラムの開口面積率と開口面積の関係 (図2)

模擬柱のダイアフラムの開口面積率とダイアフラムの開口面積の関係は、ダイアフラムの開口面積が増加してもダイアフラムの開口面積率がそれほど上昇しないものと、ダイアフラムの開口面積の増加より、ダイアフラムの開口面積率の増加が大きいものとに分けられる。前者は、鋼管幅の増加に伴ってダイアフラムの開口面積を増加させており、図中の勾配の急なラインで示すことができる。後者は、鋼管幅に併せてダイアフラムの開口面積を決定するのではなく、充填性および施工性を重視したダイアフラムの開口面積を採用しており、図中の勾配の緩いラインで示すことができる。したがって、実施工は、下のラインに近いことから、充填性および施工性を重視していることが示唆される。

(3) ダイアフラムの開口面積率と鋼管圧入高さの関係 (図3)

ダイアフラムの開口面積率は、技術指針で述べられている15%前後で行われていた。鋼管圧入高さとはダイアフラムの開口面積率に密接な関係は見られなかったが、これはコンクリート調査にも関係しているためと思われる。また、この中で模擬柱の実験で検証した後に、実施工ではダイアフラムの開口面積率を上げている文献もみられた。

(4) スラップフローと鋼管圧入高さの関係 (図4)

CFTの圧入実験は、ほとんどがスラップフロー50cm以上の高流動コンクリートで行われており、特に実施工では9割以上が高流動コンクリートであった。模擬柱は、普通コンクリートおよび高流動コンクリートで、スラップフローの実験が幅広く行われていた。また、鋼管圧入高さは、実施工では15m以上で行われており、鋼管圧入高さ20~40mが標準的な1回に圧入される高さであり、最大60mまで圧入された報告もあった。模擬柱では、圧入高さ12m以下で、

図1 鋼管幅—ダイアフラム開口面積

図2 ダイアフラム開口率—ダイアフラム開口面積

図3 ダイアフラム開口率—鋼管圧入高さ

図6 実験変数と試験体

表1 実験変数

試験体名称	鋼管種類	W/C %	設計基準強度 N/mm ²	開口径 mm	吐出力 m ³ /h	配管長 m
45-53 S	450	53	27	150	10	120
45-40 F	450	40	42	150	10	120
45-29 F	450	29	60	150	10	120
75-53 S	750	53	27	250	30	120
75-40 F	750	40	42	250	30	120
75-35 F	750	35	48	250	30	120
75-29 F	750	29	60	250	30	120
75-29SF	750	29	60	250	30	120

45-53 S → S; スラップ 21±1.5cm, F; スラップ 70-60 ±5cm,
SF; スラップ 70-70 ±5cm
W/C
→ 鋼管幅

図7 試験体名称

図4 スラップフロー—鋼管圧入高さ

図5 水セメント比—鋼管圧入高さ

ほとんどが5 m以下であった。鋼管圧入後のスラップフローの低下は、実施工で大きく変化し、圧入高さによる影響と考えられる。

(5) 水セメント比と鋼管圧入高さの関係 (図5)

実施工での水セメント比は、30~40%で行われており、高強度コンクリートのものが多く見られ、模擬柱では水セメント比が幅広く検討されていた。実施工で鋼管圧入高さによる水セメント比の変化が30~40%とあまり変化させていないのは、充填性を重視しているためと考えられる。また、圧入高さに関わらず、水セメント比に変化がないことから実際に必要とされているコンクリート設計基準強度より高くなる調査で行っていると考えられる。

以上の調査結果より、CFT柱へのコンクリート充填技術は、ダイアフラムの開口面積 (率)、コンクリートのスラップフローおよび水セメント比から充填性および施工性を重視している傾向が見られた。しかし、これらの要因が鋼管圧入に及ぼす影響についての一連の研究は行われていない。そこで、本研究は、水セメント比の異なるコンクリートを用いて圧入施工実験を行い、圧入高さへの影響を調べた。

3. 実験概要

本実験は、水セメント比の異なるコンクリートがCFT柱の圧入高さに及ぼす影響として、圧入高さのほかに①ポンプ圧送・圧入によるコンクリート品質変化、②コンクリート圧縮強度および③コンクリートの充填状況の3項目について調べた⁵⁾。

3.1 実験計画

(1) 実験変数

実験変数を表1に示す。鋼管柱は、合計で8体で、これらは2種類の鋼管断面を有する。コンクリートの吐出量は、10, 30 m³/hの2種類を設定し、水平換算の配管距離を実長約120mとした。

実験変数と試験体の関係を図6に、試験体の名称は実験変数を用いて図7に示す規則に従う。

(2) コンクリート調査

コンクリートの調査は、高炉セメントB種を用いてブリーディング量0 cm³/cm³を目標とした普通コンクリート (設計基準強度27 N/

間を目視により確認した。

(4) 管内圧力

コンクリートの種類によるコンクリートの圧入性を調べるために、管内に設置した。圧力センサーにより計測を行った。

4. 実験結果および考察

(1) 充填状況

コンクリート圧入後の各試験体のコンクリート充填状況を図11に示す。試験体45-53Sは、8m付近の位置にある2層目のダイアフラムの上部で閉塞し、コンクリートの圧入が不可能となった。試験体45-40Fと75-53S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となった。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) 水セメント比と圧入高さ

図11の充填状況の結果より、鋼管幅450の試験体で圧入高さに変化が見られた。水セメント比の小さい方が圧入高さが高くなり、水セメント比が大きい方が鋼管の途中で閉塞する傾向にあった。鋼管幅750の試験体からも同様の結果が見られた。これは、コンクリートの単位セメント量の影響によるものと考えられる。

(3) 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。スランブあるいはスランブフローは、出荷時に比べて、筒先ではほとんど低下が見られなかったが、鋼管天端では、スランブフローが最大で18cm、平均で4cm低下した。筒先でスランブフローの低下が少ないのは、先送りモルタルが配管内に付着しているためであり、鋼管天端でスランブフローの低下が見られるのは、充填するコンクリートのモルタルが鋼管柱の側面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、顕著ではなかった。鋼管圧入において、水セメント比が大きい方が閉塞したことを考慮すると、水セメント比が小さく、粉体が多い方が充填性が良好であることがわかった。

(4) 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12

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、水セメント比が小さいほどコンクリート圧縮強度のばらつきが少なかった。

(5) コンクリートの品質管理

柿崎他⁶⁾の研究によると、本実験の45-53Fと同程度の調合で□-600×600×19で高さ19.4mの圧入に成功した報告がされている。こ

表4 (a) スランブ, スランブフロー

試験体名称	出荷時 cm×cm	荷卸時 cm×cm	筒 先 cm×cm	鋼管天端 cm×cm
45-53 S	21.5	20.5	20.5	—
45-40 F	66×64	59×56	55×55	—
45-29 F	68×65	58×55	55×54	47×46
75-53 S	22.5	20.5	19.5	—
75-40 F	60×58	63×60	64×61	58×58
75-35 F	66×66	61×60	58×58	60×60
75-29 F	57×57	63×61	58×56	45×46
75-29SF	70×68	63×65	70×69	69×68

表4 (b) 空気量

試験体名称	出荷時 %	荷卸時 %	筒 先 %	鋼管天端 %
45-53 S	5.6	3.4	4.3	—
45-40 F	7.2	6.5	6.6	—
45-29 F	6.2	3.7	6.2	4.9
75-53 S	3.6	3.4	3.1	—
75-40 F	3.5	4.1	3.8	4.0
75-35 F	5.5	5.5	5.5	5.0
75-29 F	4.0	4.1	4.7	5.1
75-29SF	6.3	6.0	6.2	6.4

図11 コンクリート充填状況

の文献によるとコンクリートのスランブフローの管理値を荷卸し時に 65 ± 5 cmに設定している。本実験の荷卸し時では、 60 ± 5 cmあるいは 70 ± 5 cmで管理しているが、120m圧送後の筒先では、 60 ± 5 cmの下限值約55cmまで低下していた。スランブフローが55cmまで低下していた試験体は、閉塞あるいは鋼管天端でスランブフローの低下が大きかった。筒先で60cmあるいは70cmに近い試験体は、鋼管天端においてもスランブフローの低下があまり見られなかった。したがって、圧入前のスランブフローの管理値を60cm以上に設定することによって、コンクリートの充填性が向上すると考えられる。

また、45-40Fと45-29Fの筒先のスランブフローが同じであったが、鋼管圧入に差が生じたことから、水セメント比の小さい方が充填性が有ることがこのことから言える。

(6) 圧送・圧入負荷

配管距離と管内圧力との関係を図13に示す。管内圧力は、ポンプ車に近いほど圧力が大きくなる結果となった。また、吐出量10、30 m^3/h ともに水セメント比が小さ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、コンクリートの調合の違いによる圧送、圧入負荷の検討も必要と考えられる。

(7) 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鋼管寸法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して適していると考えられる。しかし、試験体45-40F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、ダイアフラムの開口面積率は10%で同じであるが、鋼管寸法450の試験体は、ダイアフラムの開口が 150ϕ であり、鋼管寸法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45-29F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45-53Sおよび75-53Sでも開口面積によって充填高さが変わっていた。このことから、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²⁾で示されている15%を確保することで、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、鋼管の規模による必要最低限の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。

表5 コンクリート圧縮強度

試験体名称	出荷時 N/mm ²	荷卸時 N/mm ²	筒 先 N/mm ²	鋼管天端 N/mm ²
45-53 S	32.4	34.2	36.6	—
45-40 F	44.6	46.1	48.6	—
45-29 F	67.0	66.4	65.2	68.7
75-53 S	36.8	38.8	38.1	—
75-40 F	44.2	45.6	45.0	49.4
75-35 F	56.4	52.8	58.6	58.6
75-29 F	72.0	76.4	75.8	63.9
75-29SF	66.3	69.6	64.0	69.1

図13 配管距離と管内圧力

図12 コンクリート圧縮強度比

(8) ダイアフラム下面の充填状況

ダイアフラム下面のコンクリート充填状況を写真2に示す(試験体75-29Fの1層目)。ほとんどの試験体でダイアフラム下面の沈降は見られず、十分に充填されていることがわかった。また、鋼管柱脚部の方が、上層部より若干の沈降する傾向があったが、これはコンクリートの自重による影響であると考えられる。

(9) 圧入高さへの影響

本実験の結果を各種コンクリートと圧入高さに及ぼす影響についてまとめると、スランブフロー-鋼管圧入高さの関係を図14に、水セメント比-鋼管圧入高さとの関係を図15に示す。

また、既往の文献についてもそれぞれの関係を図16、図17に示した。ただし、既往の文献は、スランブフロー、水セメント比を10刻みで分類し、鋼管圧入高さとの関係を示した。なお、その分類した範囲の最大、最小値の範囲を示し、×印はその範囲での平均圧入高さを示している。なお、 $W/C=20\sim30$ 未満では、60mの値のみであったので最大値のみを表示し、最小値、平均値は示していない。

まず、図14より、スランブフロー55cm前後で圧入可能領域の境となり、鋼管内にコンクリートを圧入するには高流動コンクリートが不可欠なことがわかった。さらに、図16において、圧入高さの最大値にばらつきはあるが、スランブフローが55cmより大きい方が圧入高さの平均値も上昇している。また、40～50cm未満において、平均圧入高さが20m程度であった。鋼管のダイアフラムの開口率に差があるため一概には言えないが、スランブフローが50cm程度の場合、圧入高さが20m程度が限界に近いことがわかり、本実験の開口率が10%であることを考慮すると本実験におけるスランブフロー55cm以下では、限界圧入高さが12m程度である事が推測できる。したがって、圧入高さが12m以上要求される場合には、圧入口でのスランブフローが55cm以上必要であり、開口面積率も15%以上必要であると考えられる。

次に、図15に関しても、スランブフローと同様の考え方をすると、水セメント比40%で圧入可能領域の境であると考えられる。図17においても、水セメント比40～50%未満での圧入高さが20m未満であることから、圧入高さが12m以上要求される場合には、水セメント比が少なくとも40%以下になるようなコンクリートの調査設計が必要であると思われる。

5. まとめ

今回行った、圧入施工実験により得られた結果を以下に示す。

各種コンクリートと圧入高さの関係は、

(1) コンクリートの圧入高さはスランブフローの影響が大きく、スランブフローが大きい方が圧入高さが高くなり、スランブフロー55cm以下では12m程度の圧入高さしか得られなかった。

写真2 コンクリートの充填状況

(2) コンクリートの圧入高さは水セメント比にも影響を受け、水セメント比が低い方が圧入高さが高くなり、水セメント比40%以上では、12m程度の圧入高さしか得られなかった。

(3) ダイアフラムの開口面積率が同じ場合でも、鋼管内で閉塞したことから、鋼管断面に対する必要最低限の開口面積が存在していると考えられる。

次に、充填コンクリートに関しては、

(4) コンクリートの品質変化は、水平配管での圧送ではほとんど見られず、鋼管圧入によって若干スランブフローが低下する傾向があった。

(5) 鋼管圧入前のコンクリートスランブフローを60cm以上で管理することによって、充填性をより向上することができる。

(6) 充填されたコンクリートの圧縮強度は、下層ほど大きくなる傾向にあり、ダイアフラムの前後で少し強度のばらつきがみられた。水セメント比が小さい方が強度のばらつきが少なかった。

(7) 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、水セメント比の値が小さいほど充填性がよく、ほとんど空隙なく充填することができた。

CFTのコンクリートの充填性は、スランブフロー、水セメント比によって鋼管圧入高さ、コンクリート品質および圧縮強度など大きく影響を受け、水セメント比が低い高流動コンクリートほどCFTに適していることがわかった。

今後さらに各種コンクリートと圧入高さの関係について検討していきたい。

【参考文献】

- 1) コンクリート充填鋼管構造設計施工指針、日本建築学会
- 2) CFT構造技術指針・同解説、(財)新都市ハザード協会pp.75, 1997
- 3) 文献調査から見たCFTの施工技術とその動向、建築技術第568号, pp.208～213, 1997
- 4) 岩沢, 中田他: 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, pp.43～46, 1996
- 5) 岩沢, 中田他: 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、コンクリート工学年次論文報告集Vol.19, No.1, pp.109～114, 1997
- 6) 柿崎他: 地下駅工事の充填鋼管柱への高流動コンクリート圧入施工、日本建築学会技術報告集, 第5号, pp.1～6, 1997
- 7) コンクリートポンプ工法施工指針・同解説、日本建築学会, 1994

図14 スランブフロー-鋼管圧入領域

図15 水セメント比-鋼管圧入領域

図16 スランブフロー-鋼管圧入範囲

図17 水セメント比-鋼管圧入範囲

[1998年2月5日原稿受理 1998年7月8日採用決定]