

# 報告 圧入工法によるCFT柱の充填コンクリートの品質に関する文献的検討

中田善久<sup>\*1</sup>・大塚秀三<sup>\*2</sup>・太田達見<sup>\*3</sup>・和美廣喜<sup>\*4</sup>

要旨:本報告は,圧入工法による充填コンクリートの品質変化を明らかにするために,圧入工法によるCFT柱の充填コンクリートに関する既往文献を対象として,圧入に伴う充填コンクリートの品質変化における,フレッシュコンクリート,圧縮強度およびコンクリートの沈降量に関して調査したものである。この結果,圧入前後において,スランプフローは著しく低下するが,空気量は変化が少ない傾向であった。また,圧縮強度は,供試体では差異が小さいが,コア供試体では圧縮強度および採取高さが増大するにつれてばらつき傾向であった。また,コンクリートの沈降量は,ばらつきがあるものの概ね小さいものであった。

キーワード:圧入工法,CFT柱,充填コンクリート,品質変化,文献調査

## 1. はじめに

CFT造は,鋼管とこれに充填されるコンクリート(以下,充填コンクリートとする)のコンファインド効果により,在来工法に比べ断面寸法を小さくできることに加え,柱間距離の長大化を可能とする構造形式である<sup>1)</sup>ため,特に建築分野において適用事例が増加している。CFT造におけるコンファインド効果を適切に発揮するためには,充填コンクリートを密実で隙間なく充填することにより鋼管と一体化させるとともに,所用の強度発現が必要<sup>2)</sup>となる。しかし,内ダイヤフラム形式の鋼管において圧入工法により施工した場合に,充填コンクリートの圧縮強度にばらつきを生じる場合のあることが報告<sup>3)</sup>されている。さらに,充填コンクリートは,ブリーディングおよび沈降を抑制するとともに,流動性に優れ材料分離を生じることのない調合とする必要があり,一般的に高性能AE減水剤が使用されている。

これまでに筆者らの一部は,この高性能AE減水剤コンクリートについて,通常の輸送管を用いたポンプ圧送に伴うコンクリートの品質変化について文献調査<sup>3)</sup>を行った結果,従来のAE減水剤を用いたコンクリートに比べて,圧送前後の圧縮強度の変化に大きな差異は見られないものの,著しいスランプロスと空気量が増大する傾向にあることを明らかとした。これにより,輸送管を用いた通常のポンプ圧送に比べ,圧送条件の不利なCFT造の圧入工法における充填コンクリートも同様に従来のコンクリートの品質変化に比べて異なる可能性もあると思われるが,これまでに体系立ててまとめられておらず,実際の施工における圧入工法による充填コンクリートの品質変化には不明な点が多い。

そこで,本報告は,圧入工法による充填コンクリートの品質変化を明らかにするために,過去19年間に国内の主要学協会において発表された圧入工法によるCFT柱の充填コンクリートに関する文献を対象として調査したものである。なお,文献ごとにコンクリートの使用材料,配(調)合および圧送条件が異なり,これらと条件を統一した場合の傾向の把握が困難であるため,充填コンクリートの品質変化に関する項目ごとに全体的な傾向を把握することを目的とした。

ここでは,内ダイヤフラム形式の鋼管に限定して,圧入前後のフレッシュコンクリートの品質変化のうち,スランプフローおよび空気量の変化,供試体および充填コンクリートより採取したコア供試体の圧縮強度の変化,さらに鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量について述べる。なお,本調査は,(社)日本コンクリート工学協会・コンクリートポンプ施工技術調査委員会(委員長:大林組技術研究所・十河茂幸副所長)の実態調査WGの活動の一環として実施したものである。

## 2. 文献調査の概要

### 2.1 文献の動向

調査対象とした文献の内訳を表-1に示す。調査対象は,1989年から2007年までの19年間に,日本建築学会,土木学会およびコンクリート工学協会において発表された圧入工法によるCFT充填コンクリートに関する文献とした。この期間において対象となる文献数は,日本建築学会では103編(学術講演梗概集97編,支部研究報告集1編および技術報告集5編),土木学会では13編(年次学術講演会講演概要集7編,支部研究報告集3編および講演論文集3

\*1 日本大学 理工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*2 ものつくり大学 技能工学部建設技能工学学科助教 修士(工学) (正会員)

\*3 清水建設(株) 技術研究所生産技術センター主任研究員 博士(工学) (正会員)

\*4 島根大学 総合理工学部材料プロセス工学科教授 工博 (正会員)

編)であり、日本コンクリート工学協会(年次論文集19編およびコンクリート工学20編)の合計155編であった。なお、連番で発表されている場合には、それぞれを1編とカウントしたものである。

文献数の推移を図-1に示す。文献数は、建築分野の方が多く、1985年より5カ年にわたり実施された旧建設省・新都市型集合住宅システム開発プロジェクトの研究開発を契機として増加し、1995年の高性能AE減水剤のJIS化を経て1998年にピークを迎えた後、徐々に減少する傾向であった。

## 2.2 文献の概要

### (1) コンクリートの使用材料および配(調)合

コンクリートの使用材料および配(調)合に関する文献数の分布を図-2に示す。セメントの種類は、普通ポルトランドセメント、低熱ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種(以下、それぞれN、LおよびBBとする)単体での使用に加え、混和材を付加した結合材が多用され、続いてSFC(シリカフェームセメント)となっており、これらの結合材だけで全体の75%程度を占めている。このことから、本報告ではN、L、BBおよびSFCをベースとして用いたコンクリートのみを調査対象とし、これらのセメントに付加する混和材料の種類が多岐に渡っており、それぞれ結合材としての特性が異なると思われるが、セメント単体での使用と混和材料を付加したものを合わせて、ベースとなるセメントの種類で表記した。

コンクリートの調合に関して、水結合材比は、10%台から70%未満まで広く分布し、30~40%の範囲が最も多いものであり、細骨材率は概ね40~50%の範囲に多く分布

表-1 調査対象とした文献の内訳

学協会	出典	文献数(編)	
		小計	総計
日本建築学会	学術講演梗概集	97	103
	支部研究報告集	1	
	技術報告集	5	
土木学会	年次学術講演会講演概要集	7	13
	支部研究報告集	3	
	講演論文集	3	
日本コンクリート工学協会	年次論文集	19	39
	コンクリート工学	20	

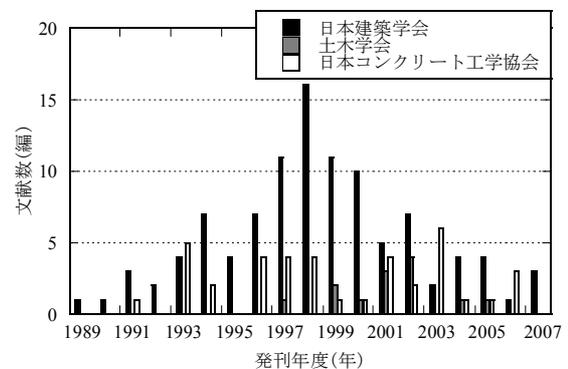


図-1 文献数の推移

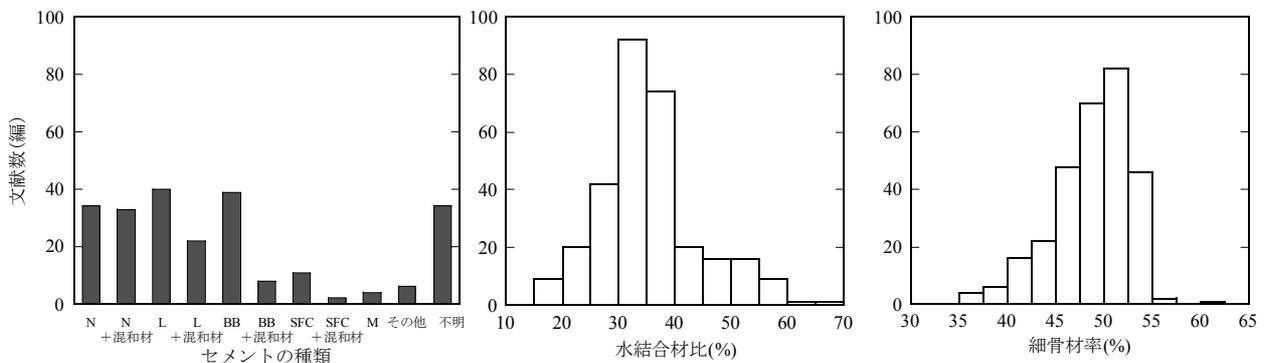


図-2 コンクリートの使用材料および配(調)合に関する文献数の分布

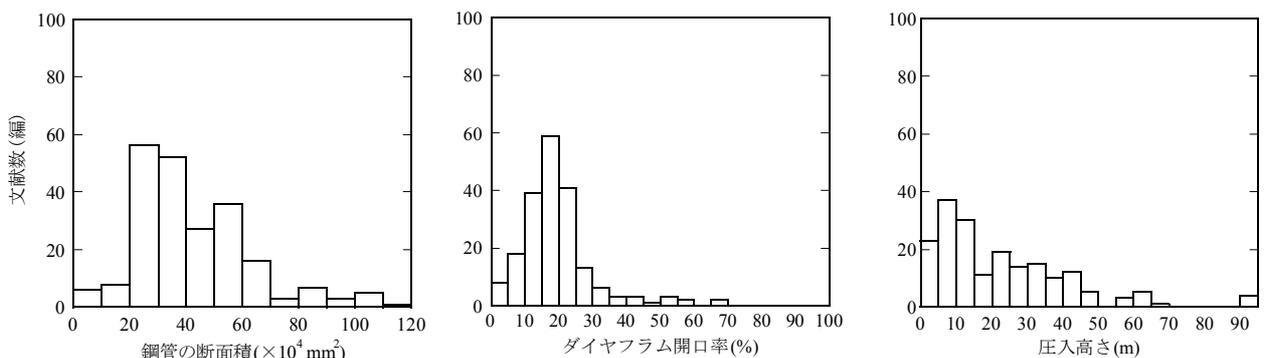


図-3 鋼管の仕様に関する文献数の分布

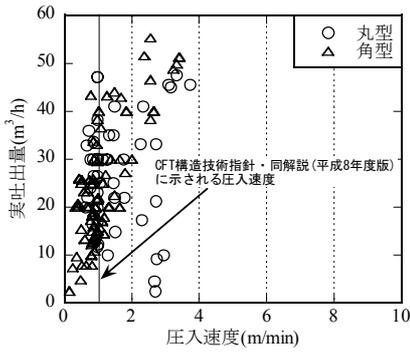


図-4 圧入速度と実吐出量の関係

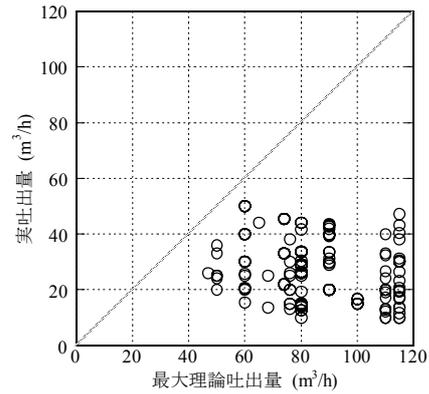


図-5 最大理論吐出量と実吐出量の関係

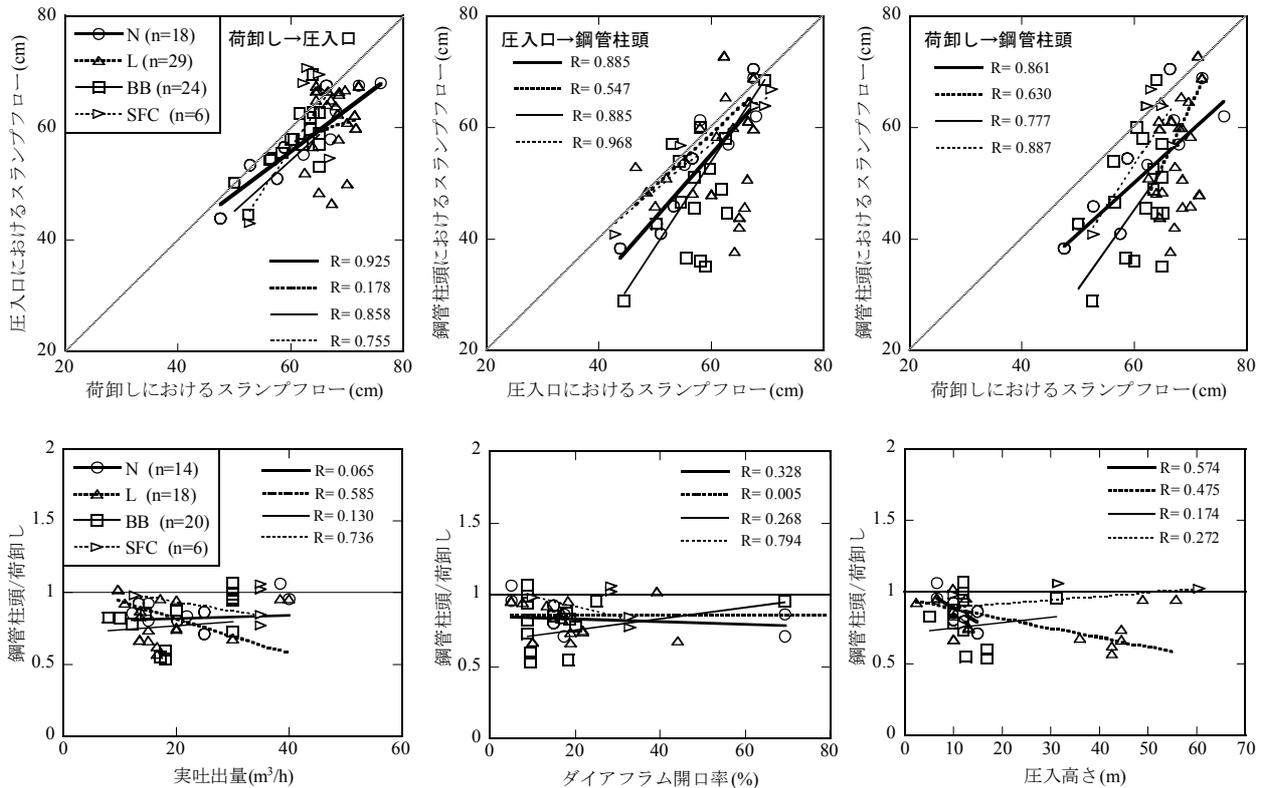


図-6 スランプフローの変化

する傾向となった。

### (2) 鋼管の仕様

鋼管の仕様に関する文献数の分布を図-3に示す。鋼管の断面積は20～60(×10<sup>4</sup>mm<sup>2</sup>),すなわち約450～800mmの断面寸法を有する鋼管を用いた検討の多いことが分かる。ダイヤフラム開口率は,20%前後が最も多く概ね35%程度までの範囲で検討されている。また,圧入高さは,10m前後が最も多く,最大で90mを超える場合もあった。なお,鋼管の形状は,角型が70%であるのに対して丸型は30%であり,多くが角型の鋼管を用いた検討を行っている。

### (3) 圧入速度および実吐出量

圧入速度と実吐出量の関係を図-4に示す。圧入速度は,実吐出量の増減との相関もなく,多くが1m/min前後であ

り,指針に示される値<sup>4)</sup>に合致するように鋼管の断面積に関わらず実吐出量の増減により調整していることが分かる。また,コンクリートポンプ車の有する理論上の最大吐出能力を示す最大理論吐出量に対する実吐出量は,図-5に示すように文献ごとの検討要因の違いを考慮したとしても,全体に小さいものとなった。これは,コンクリートポンプ車が圧入施工に対して大幅に安全を見込んで選定される傾向を示唆するものと思われる。

以下,次章以降において,実吐出量,ダイヤフラム開口率および圧入高さなどの各種要因が充填コンクリートの品質変化に及ぼす影響を中心に考察した。なお,同じ試験値を示す場合であっても,文献中における考察するパラメータによって記載有無があり,プロットされるデータに若干の相違が生じている。

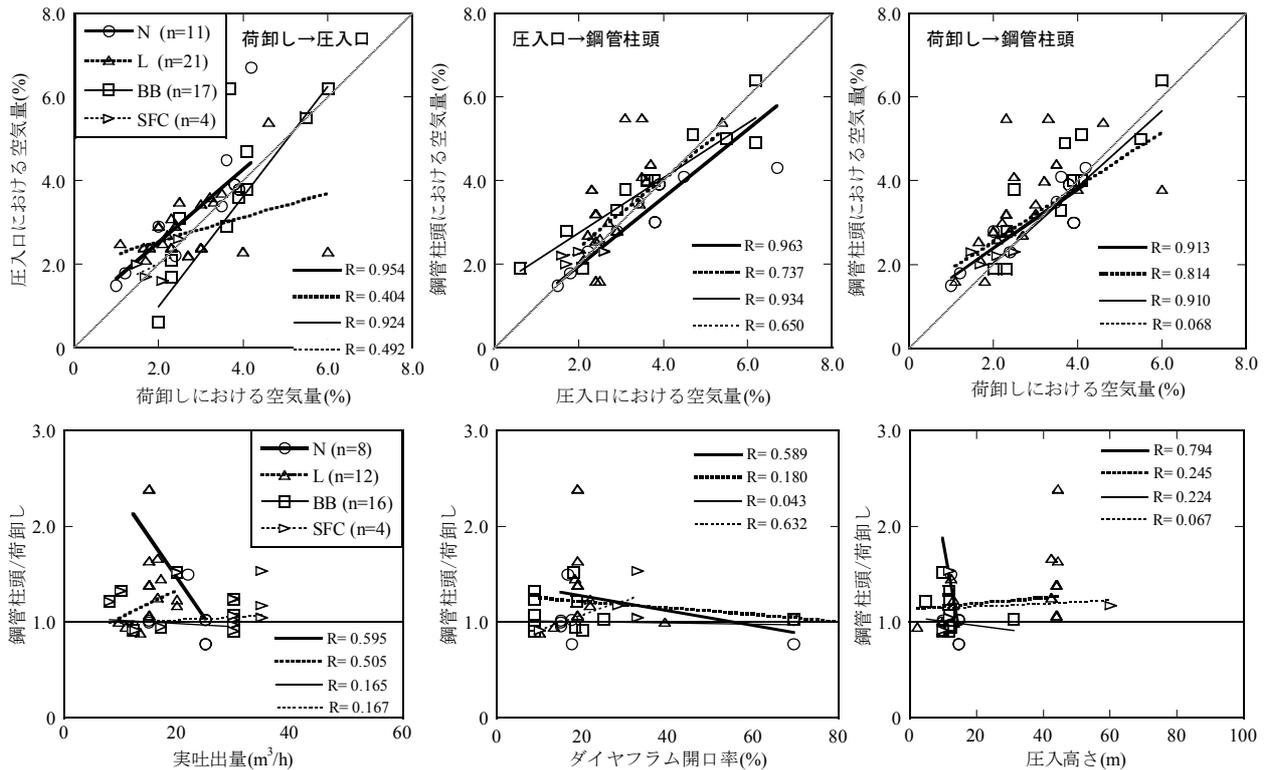


図-7 空気量の変化

### 3. 結果および考察

#### 3.1 圧入前後におけるフレッシュコンクリートの品質変化

##### (1) スランプフローの変化

スランプフローの変化を図-6に示す。スランプフローは、いずれのセメントの種類とも荷卸しから輸送管を経て圧入口に至るまでに概ね低下する傾向にあり、この傾向は圧入に伴ってさらに顕著となる。鋼管柱頭のスランプフローに至っては、荷卸しと比べた圧入口におけるスランプフローより、最大で半分程度までスランプロスする場合も見られ、低下量が増大する傾向となった。このことから、圧入工法による充填コンクリートのスランプフローの低下は、圧入口に至るまでの輸送管内における変化よりも鋼管内をコンクリートが充填されていく過程の方が大きくなるものと考えられる。これは、高性能AE減水剤コンクリートを輸送管により圧送した場合にスランプフローが著しく低下する傾向<sup>3)</sup>と同様であり、加えて鋼管内に充填コンクリートを密実に充填するために圧入速度を抑制することによる経過時間によるスランプロスが相乗的に影響していると考えられる。また、実吐出量、ダイヤフラム開口率および圧入高さの各要因と荷卸しに対する鋼管柱頭におけるスランプフローの変化率との関係には、得られたデータ母数の相違もありセメントの種類ごとの明確な傾向を示さなかったが、いずれのセメントの種類ともダイヤフラム開口率が大きくなるにつれて、若干ではあるものの変化率が低減される傾向にあった。

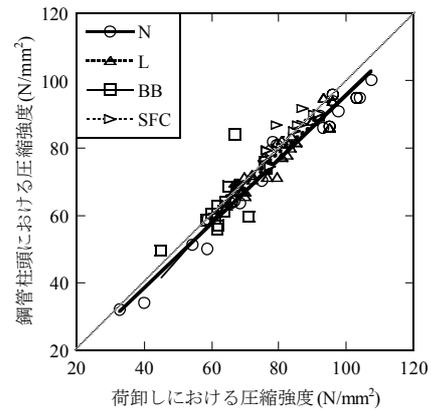


図-8 供試体における荷卸しと鋼管柱頭の圧縮強度の関係

##### (2) 空気量の変化

空気量の変化を図-7に示す。空気量は、いずれのセメントの種類とも荷卸しから鋼管柱頭に至るまで、全体にばらつきはあるものの若干増加する程度で概ね同等の傾向を示した。これは、充填コンクリートを圧入する際に連続的に打ち込むために、エンラップトエアの巻込みが著しく少なく、充填コンクリートが鋼管柱頭に達するまでこれが持続するためであると考えられる。さらに、前述したように圧入速度を一定に抑制するために、荷卸しからの経過時間に起因する空気量が低下する一般的な傾向も影響していると考えられる。また、高性能AE減水剤コンクリートを輸送管によりポンプ圧送する場合における圧送後の空気量が圧送前に比べて顕著に増加する傾向<sup>3)</sup>とは異なる傾向であった。このことから、圧入工法が充填

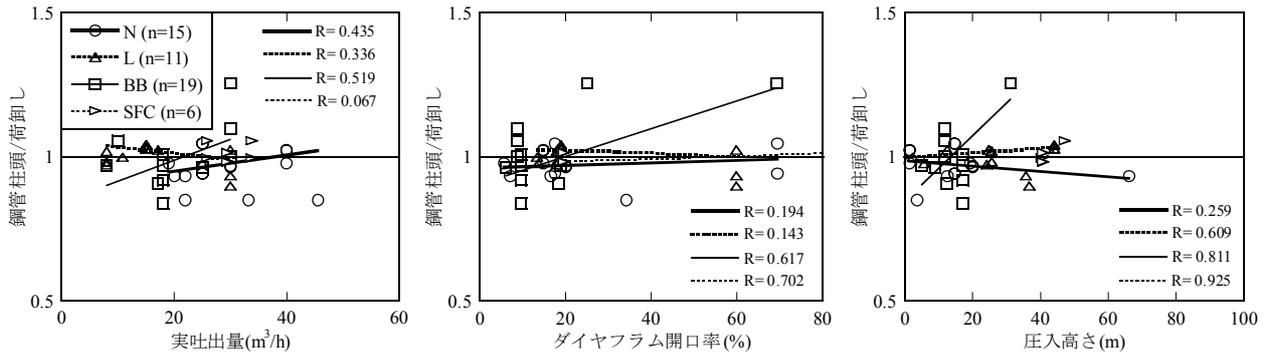


図-9 供試体における各種要因と荷卸しに対する鋼管柱頭の圧縮強度比の関係

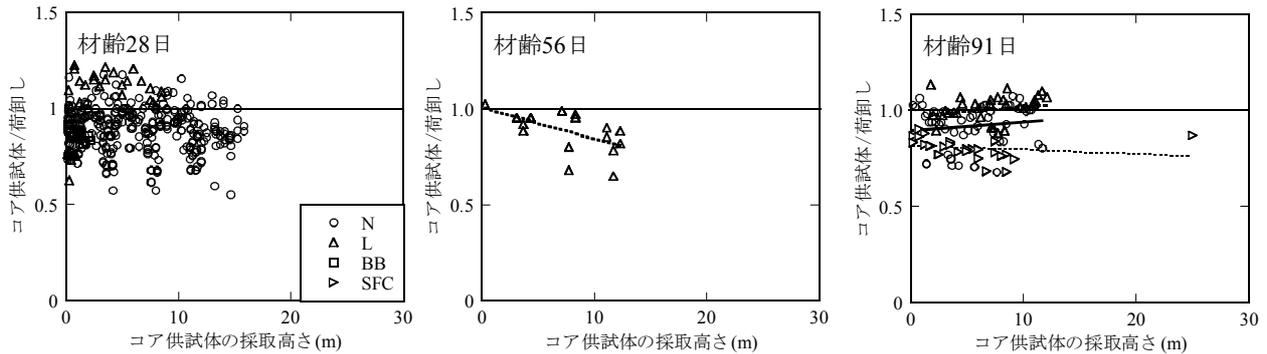


図-10 充填コンクリートのコア供試体における採取高さ（標準養生，材齢28日）に対する圧縮強度比の関係

コンクリートの空気量の変化に及ぼす影響は、スランプフローの変化に比べて小さいものと考えられる。また、荷卸しに対する鋼管柱頭における空気量の変化率は、スランプフローの変化と同様に得られたデータ母数の相違の影響もあり、実吐出量、ダイヤフラム開口率および圧入高さの各要因と荷卸しに対する鋼管柱頭にける空気量の変化率の関係は、明確な傾向を示さず、セメントの種類による差異も同様に明確でなかった。

### 3.2 圧入前後におけるコンクリートの圧縮強度の変化

#### (1) 供試体における圧縮強度の変化

供試体における荷卸しと鋼管柱頭の圧縮強度の関係を図-8、各種要因と荷卸しに対する鋼管柱頭の圧縮強度比の関係を図-9に示す。荷卸しと鋼管柱頭における圧縮強度の関係は、セメントの種類の違いに関わらずほぼ同等の傾向を示した。これは、高性能AE減水剤コンクリートを輸送管によりポンプ圧送する場合と同様の傾向<sup>3)</sup>であった。このことから、空気量の変化と同様に、圧入工法による充填コンクリートの圧入が、供試体の圧縮強度へ及ぼす影響は少ないものと考えられる。また、前述と同様にデータ母数の相違の影響もあり、

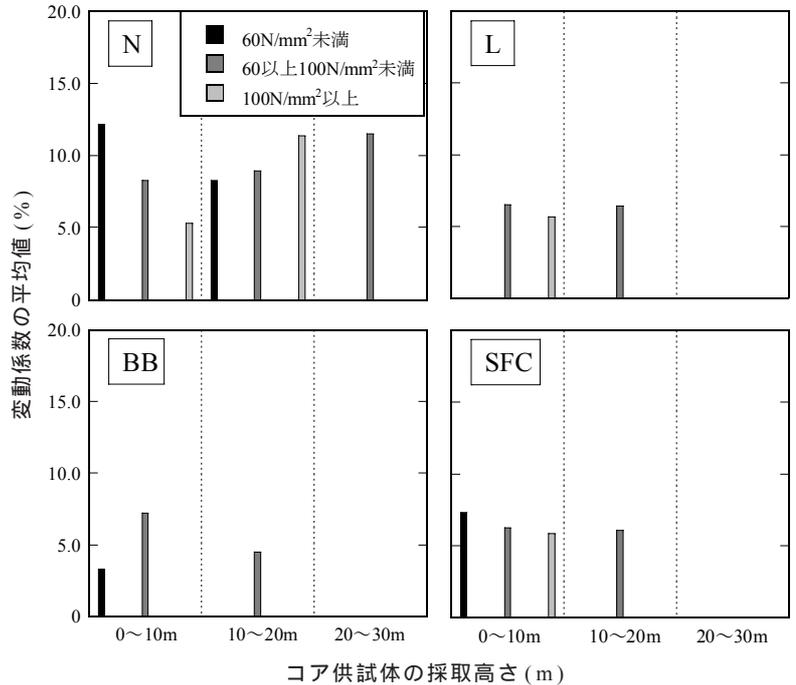


図-11 充填コンクリートのコア供試体の採取高さ（標準養生，材齢28日）と変動係数の平均値の関係

また、前述と同様にデータ母数の相違の影響もあり、

実吐出量、ダイヤフラム開口率および圧入高さの各要因と荷卸しに対する鋼管柱頭における圧縮強度比の関係は、明確な傾向を示さなかったが、いずれの要因においても、概ねセメントにNおよびLを用いたコンクリートの変化は小さいものとなった。

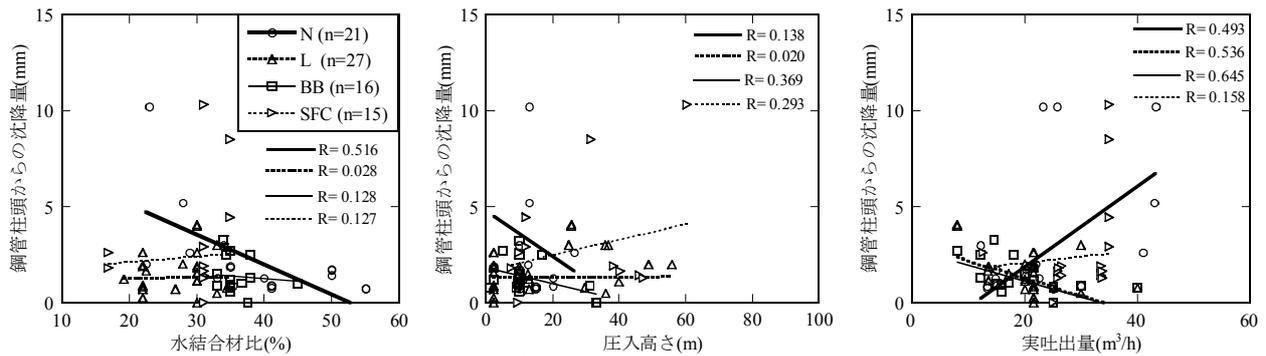


図-12 各種要因と鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量の関係

## (2) 充填コンクリートにおけるコア供試体の圧縮強度

充填コンクリートのコア供試体における採取高さと同荷卸し(標準養生, 材齢28日)に対する圧縮強度比の関係を図-9に示す。荷卸しに対するコア供試体の圧縮強度比は、材齢28および56日において、いずれの採取高さともばらつきはあるものの、セメントの種類に関わらず全体に1.0より小さくなる傾向を示し、圧縮強度の管理用として荷卸しにおいて採取し標準養生された供試体とコア供試体の圧縮強度における一般的な強度発現性<sup>3)</sup>と同様であったが、材齢91日においてもこの傾向は変わらず、荷卸しに比べコア供試体の圧縮強度が著しく下回る傾向にあった。

荷卸しにおいて採取し標準養生された供試体の圧縮強度レベルごとに分けて、充填コンクリートにおけるコア供試体の採取高さの違いによるコア供試体のばらつきについて、図-11に示すように変動係数の平均値を用いて検討した。これに用いた変動係数は、文献ごとに検討された条件が異なるため、それぞれ算出した変動係数を平均したものである。変動係数の平均値は、セメントの種類により全数揃っておらず、L, BBおよびSFCでは、採取高さによる明確な傾向は示さなかったが、Nにおける60N/mm<sup>2</sup>以上では、圧縮強度レベルの増大に伴い、採取高さが高くなるほど変動係数の平均値が大きくなる傾向にあった。

### 3.3 鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量

各種要因と鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量の関係を図-12に示す。鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量は、文献によりばらつきが大きくセメントの種類の違いによる明確な傾向は示さず、さらに水結合材比、圧入高さおよび実吐出量の各要因との関係においても同様に一定の傾向は見られないが、最大で15mm程度であり全体に2.5mm程度に留まる傾向となった。

## 5. まとめ

本報告は、圧入工法によるCFT柱の充填コンクリートの品質変化について、過去19年間の国内における学協会において発表された文献を対象に調査したものである。これにより得られた知見を以下に示す。

(1) スランプフローは、圧入に伴って低下し、圧入口に至

る輸送管内における変化に比べて鋼管内の圧入過程における変化の方が大きい。一方、空気量は、鋼管柱頭と同荷卸しにおいてほぼ同等であり圧入による変化が少ない。

(2) 圧縮強度は、供試体では荷卸しと鋼管柱頭における差異は僅少であり、充填コンクリートより採取されたコア供試体では、荷卸しに比べ概ね低下し、Nでは圧縮強度レベルの増大に伴って、採取高さが高くなるほどばらつく傾向を示す。

(3) 鋼管柱頭におけるコンクリートの沈降量は、ばらつきが多いものの全体に2.5mm程度以下に留まる。

## 謝辞

本報告では、引用させて頂いた文献が多数あるため、文献名を割愛させて頂いた。ここに、執筆者の方々に敬意を表するとともに、多数の貴重な研究成果が公表されていることに感謝する次第である。また、データの整理にあたって、日本大学理工学部建築学科中田研究室・松原北斗君の協力を得た。ここに付記して深謝する。

## 参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説、第2章CFT造の概要と設計・施工上の留意点、p.5, 2002.9
- 2) 新都市ハウジング協会 CFT造施工技術研究会：ダイヤフラムが構造体コンクリート強度に与える影響を考慮したCFT造用コンクリートの調合強度算定式の提案、日本建築学会技術報告集, Vol.19, pp.5-9, 2004.6
- 3) 中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄：ポンプ圧送に伴う高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後の品質変化に関する文献的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.223-228, 2007
- 4) 新都市ハウジング協会：平成8年度版CFT構造技術指針・同解説、第4章6節, p.75, 1996
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 コンクリート工事, pp.166-168, 2003