

報告 低発熱型高ビーライト系セメントを使用した高流動 コンクリートの充填型鋼管コンクリート柱への適用

立山創一*¹・福岡信*²・石川伸介*³

要旨：「粉体系」高流動コンクリートのマスコン対策として、低発熱型高ビーライト系セメントを使用した調合を実用化し、圧入施工へ適用した。結果は、①発熱量はセメント10kg当たり0.6℃程度であり、マスコン対策として有効である。②凍結融解ならびに長さ変化は、建築学会で定められた高耐久性鉄筋コンクリート造のコンクリートの目標品質を満足した。③圧入施工によって、スランプフローは40%程度小さくなったが、これは練混ぜから約2時間経過していることが大きく影響している。④打撃音による充填性の確認によって確実に充填されたことが判明し、本調合の有用性が確認された。

キーワード：高流動コンクリート，低発熱型高ビーライト系セメント，圧入施工

1. はじめに

筆者らが開発した、高炉セメントB種を主粉体に少量のシリカフェームを添加した「粉体系」高流動コンクリート（以降“一般用調合”と呼ぶ）は、発熱量がセメント10kg当たり1.0℃あり、発熱によるひび割れを制御しなければならない場合には、現状のままでの使用は困難である〔1〕。

そこで、今回低発熱型高ビーライト系セメントのみを使用した「粉体系」高流動コンクリートの調合（以降“マスコン用調合”と呼ぶ）を実用化した。これにより、今後予想される高流動コンクリートの大断面部材への適用ならびに発熱を制御したい場合での高流動コンクリートの適用が可能になるものと思われる。

今回実用化したマスコン型調合の特徴は、以下のとおりである。

- ①粉体が低発熱型高ビーライト系セメント単味であるため、一般用調合のように混和材の別添加の手間が不要であるため、製造が容易である。
- ②粉体が単味であるため、品質の変動を小さくすることが容易である。
- ③発熱の制御手法としてセメントを低発熱型高ビーライト系セメントに変更するだけで40%程度の低減効果があるため、容易に発熱を抑制できる。

等、がある。

しかし、マスコン対策を必要とするような現場においては希なことではあろうが、打設数量が少量の場合には生コン工場のセメントサイロを1ビン占有するため、製造自体困難になることも考えられる。

本報告は、前半においてマスコン用調合の基礎性状（温度上昇量、凍結融解抵抗性、長さ変化、圧縮強度および静弾性係数）について一般用調合と比較しながら述べ、後半において本調合を使用して実施した、充填型鋼管コンクリート柱への圧入施工時に行われた、圧入による性状の変化、圧入時の側圧および圧入後のコンクリートの沈降量の計測結果について述べている。

* 1 安藤建設(株)技術研究所材料研究室課長代理、工修（正会員）

* 2 安藤建設(株)技術研究所材料研究室室長、工博（正会員）

* 3 安藤建設(株)技術研究所材料研究室研究員（正会員）

2. 施工概要

2.1 建物概要

建物の略軸組図および略平面図を図-1に示す。

建物の規模等は、建築面積：679m²、延床面積：5,232m²、軒高：29.75m、構造規模：CFT造、地下1階、地上8階である。

2.2 圧入施工方法

施工は、12月下旬に行われた。

圧入施工順序は図-1に示すとおりである。これは、前面道路とポンプ車の配置位置関係を考慮して決定された。

圧入は、FLより+800mmの位置にある圧入口より、ピストン前面圧6N/mm²のピストン式コンクリートポンプ車を用いて、29.5m上の屋上位置まで行った。

ダイアフラムは図-2に示すとおり、中央にφ180mmの穴と4隅に空気抜き用のφ12mmの穴が開けられている。

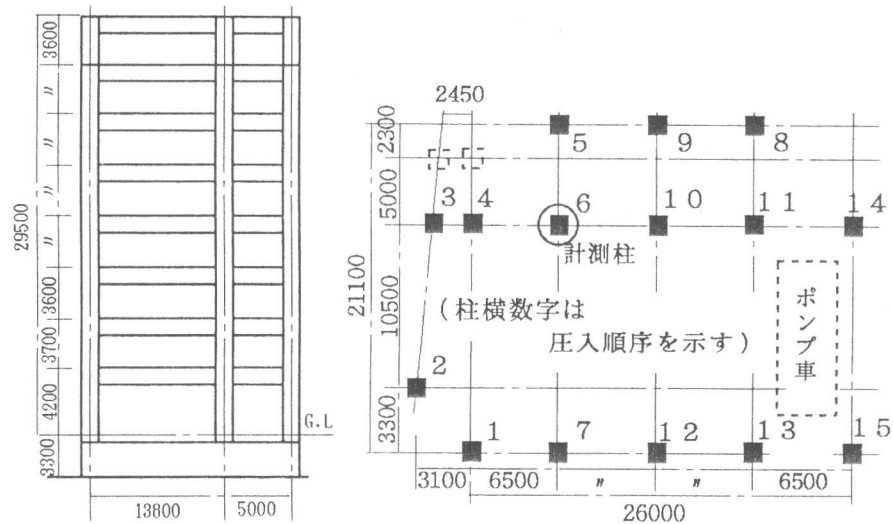


図-1 略軸組および略平面

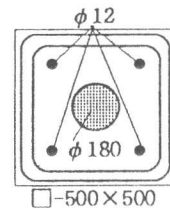


図-2 ダイアフラム形状

表-1 コンクリートの調合

調合種類	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
			水	セメント	シリカフェーム	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤
マスコン用	34.5	52.3	170	493	—	850	825	11.832
一般用	31.9	50.0	170	519	14.0	831	856	8.304

表-2 使用材料

使用材料	種類	物性および成分
セメント	低熱ポルトランドセメント	比重:3.22, 比表面積:3300cm ² /g
細骨材	山砂	表乾比重:2.56, 吸水率:2.49%, FM=2.78
粗骨材1	安山岩碎石(35%)	混合後の物性: 表乾比重:2.70, 吸水率:1.14%, FM=6.50
粗骨材2	玄武岩碎石(65%)	
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系

表-3 計測項目および方法

項目	方法
フロー	JIS A 1101に準拠
フロー時間	JIS A 1101に準拠(引き上げ~停止)
空気量	JIS A 1128
圧縮強度	JIS A 1108
簡易断熱温度上昇試験	□-700×700×700mm (厚100mmの発泡ポリスチレン断熱材使用)
凍結融解	JIS A 6204付属書2
長さ変化	JIS A 1129
側圧	圧力センサーを動歪み計にて計測
沈降量	柱頭部において変位計にて計測

3. 試験概要

3.1 調合および使用材料

調合を表-1に示す。当社では、鋼管への圧入コンクリートには、全て高流動コンクリートを

採用している。これは、ブリージングの抑制と高い充填性を兼ね備えているからである。なお、マスコン用調合の採用は、試験的な適用である。

使用材料は、表-2に示すとおりである。

高流動コンクリートの荷卸し時の目標品質は、スランプフローが65±5cmであり、空気量は4.5±1.5%である。なお、設計基準強度は

36N/mm²である。

3. 2 計測項目および方法

表-3 に計測項目および方法を示す。

3. 3 コンクリートの製造

コンクリートは生コン工場の練混ぜ容量3m³の強制2軸練りミキサを使用して製造した。練混ぜ量は1バッチ当たり1.75m³である。練混ぜ方法は、材料一括投入方法で実施し、練混ぜ時間は、材料投入終了から排出開始まで90秒である。製造中は砂の表面水を連続測定し、バッチ毎に補正を行って製造した。

運搬時間は、約30～60分であった。

4. 結果及び考察

[基礎性状]

4. 1 フローおよびフロー時間

図-3 にマスコン型調合ならびに一般型調合のフローとフロー時間の関係を示す。

フローとフロー時間の間には相関係数で0.85程度の右上がりの比例関係が認められる。また、フローが55cm以下になるとフロー時間がほぼ一定となる傾向も認められる。

フロー時間は、マスコン用調合のほうが短く見えるが、これは一般用調合の平均フローが67.1cmであるのに対し、マスコン用調合の平均フローが58.8cmと約10cm小さいためである。

今回のデータの範囲では、高炉セメントB種+シリカフェームと低発熱型高ピーライト系セメントの粉体の違いによる差異は認められなかった。

4. 2 温度上昇量

図-4 に簡易断熱温度上昇試験による温度上昇量を示す。なお、一般用調合の施工時期は11月である。

マスコン用調合では、温度上昇量が約30℃であった。これに対し、一般用調合は約55℃の上昇が認められた。これらの上昇量をセメント10kg当たりの上昇量に換算すると、マスコン用調合で0.6℃、一般用調合で1.0℃となる。セメントを低発熱型高ピーライト系セメントに換えることにより、発熱を約40%抑制することが可能であることが判った。

最高温度までの発熱速度においても、一般用調合はマスコン用調合よりコンクリート温度が約10℃高いため発熱速度が速くなっているという影響はあるものの、その影響を考慮しても約半分（一般用調合が1.5日に対しマスコン用調合は3.0日）の速度と緩やかである。このため、部材内部での蓄熱が少なくなる。

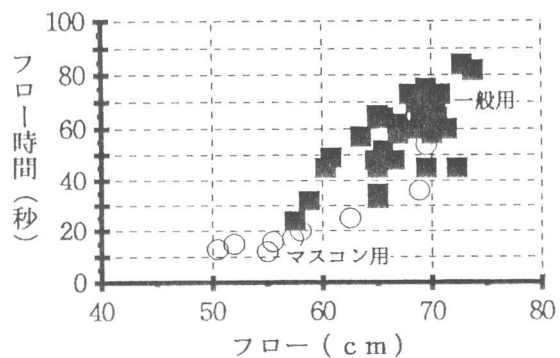


図-3 フローとフロー時間

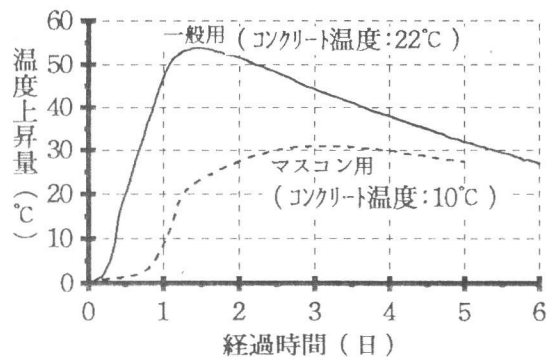


図-4 温度上昇量

以上のことから、発熱の抑制が必要なマスコン対策として、本調合が十分に有効であることが判った。

4. 3 凍結融解抵抗性

図-5に凍結融解試験結果を示す。

一般用調合は150サイクルを超えた時点から徐々に相対動弾性係数の低下が始まり、最終の300サイクル時点では65%まで落ちている。マスコン用調合の方は、300サイクルまでほとんど低下が認められなかった。

この差は、目標空気量が一般調合においては2%（測定結果:3.3%）であるのに対し、マスコン用調合の方は4.5%（測定結果:4.8%）と、空気量の違いによるものと考えられる。

「粉体系」高流動コンクリートのように高強度であっても、高い凍結融解抵抗性を必要とする場合、通常のコンクリートと同様に4%以上の空気の連行は必要である。

4. 4 長さ変化

図-6に長さ変化の試験結果を示す。

材齢26週における変化量は、マスコン用調合で 7×10^{-4} 、一般用調合で 5×10^{-4} であった。建築学会が定める「高耐久性鉄筋コンクリート造」のコンクリートの目標品質である6ヶ月で 7×10^{-4} 以下を両調合とも満足した。

両調合の変化量の差について、その原因を推測した場合、長さ変化に大きく影響を与えると言われている粗骨材の弾性係数に関しては、両者の静弾性係数がそれほど異ならないことから、粗骨材の弾性係数の影響によるものとは考えにくく、細骨材率の違い（マスコン用調合は52.3%、一般用調合は50%）あるいは骨材中の微粒分の違いによるものではないかと考えられるが、今回の実験だけでは判断できなかった。

4. 5 圧縮強度と静弾性係数

図-7に材齢と圧縮強度の関係を、図-8に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。

両調合の強度の差は、水セメント比（マスコン用調合:34.5%、一般用調合31.9%）と、使用材料の違いならびに練り上がり温度の差によるものと考えられる。

両調合ともに、セメントおよび混和材のタイプとして強度発現が速いものではないため、材齢28日以降の強度の伸びも大きい。

静弾性係数に関しては、マスコン用調合の方

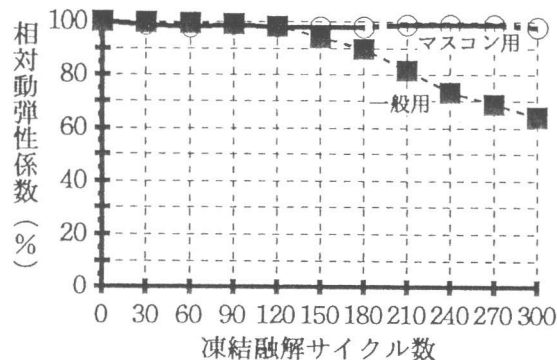


図-5 凍結融解試験結果

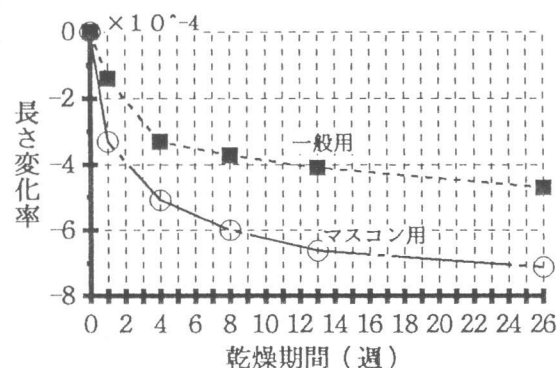


図-6 長さ変化試験結果

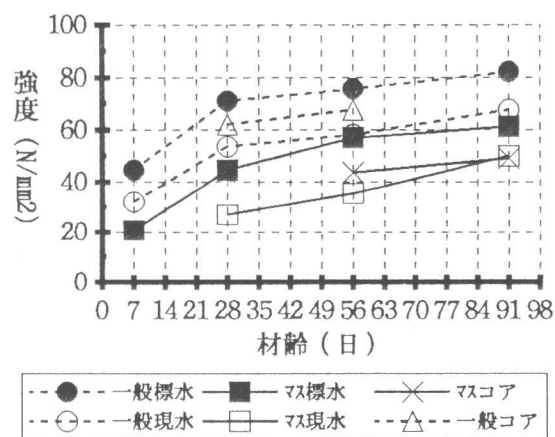


図-7 材齢と圧縮強度

がやや高めの値を示しているが、これは使用粗骨材の岩種の違い（マスコン用調合は玄武岩碎石と安山岩碎石の混合碎石、一般用調合は石灰石碎石）の影響によるものと考えられる。

両調合とも、静弾性係数はNewRC式で近似することが可能であり、NewRC式の算出基準となった高強度コンクリートに比べ、高流動コンクリートの細骨材率が大きいことの影響は、今回のデータの範囲内では、認められなかった。

[圧入施工]

4. 6 圧入によるフローの変化

図-9に各試験位置におけるフローの変化を示す。

フローは、出荷から80分も経過しているにも係わらず、運搬および待機によって約17cm大きくなっている。この傾向は室内試験練りによる傾向とは異なっており、その原因は不明である。

圧入によってフローは25cm低下した。これは、一般に言われているように鋼管内壁面へのペースト分の付着によってペースト分が減少していくこと、および今回の場合、出荷から105分経過しているためにフローの低下が大きくなったものと考えられる。しかし、柱頭で採取されたコンクリートは十分に流動性を保持していた。

4. 7 圧入による側圧

図-10に圧入高さとの関係を示す。

側圧の測定は、1階床より800mm上がった圧入口に取り付けた圧力計により行った。

圧入時のコンクリートポンプ車の脈動による動的成分を加えた側圧（ p ）と圧入高さの関係は、図中に示すとおり、液圧の約1.3倍であった。この値は、筆者らが以前発表したもの（液圧の1.08倍）に比べ、20%程度大きい[2]。この違いは、ダイアフラムの開口率（既発表：30%、本報：10%）が約3分の1であること、および圧入速度が速かったこと（既発表：約30 m^3/h 、本報：約40 m^3/h ）によるものと考えられる。

圧入終了時には、動的成分が消え、液圧と等

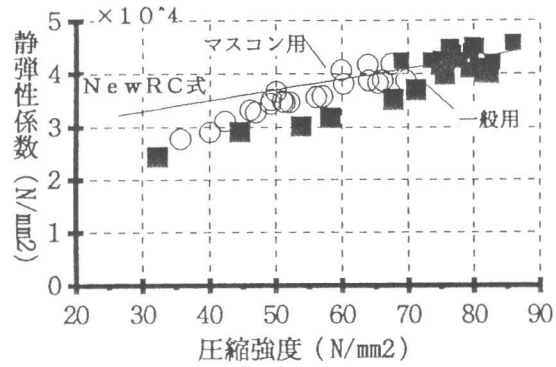


図-8 圧縮強度と静弾性係数

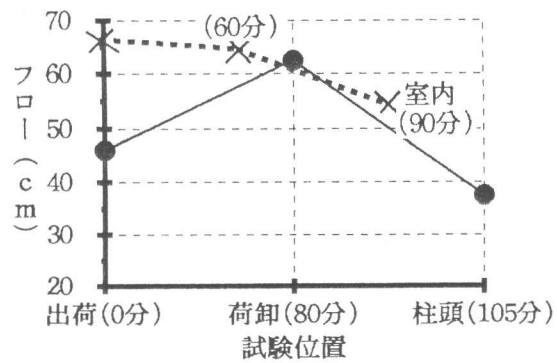


図-9 試験位置とフロー

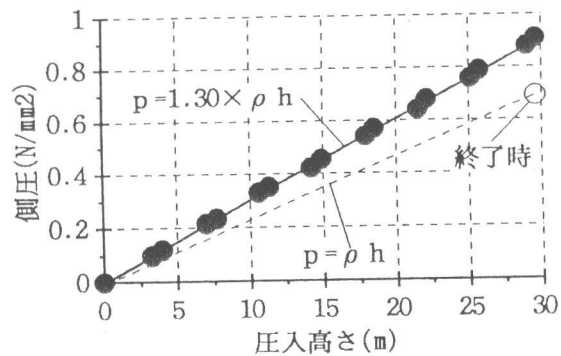


図-10 圧入高さとの関係

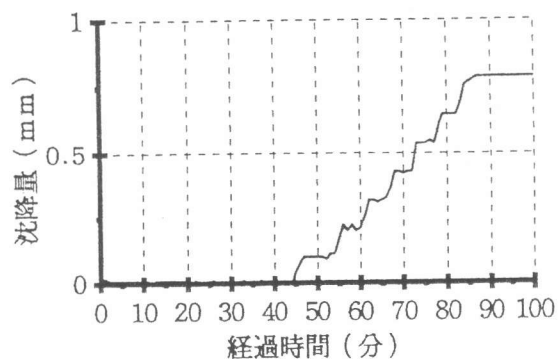


図-11 コンクリートの沈降量

しい結果となった。

4. 8 圧入後のコンクリートの沈降ならびにブリージング

図-11に柱頭におけるコンクリートの沈降量を示す。

沈降は測定45分後より始まり90分後にはほぼ終了した。最終沈降量は、ほぼ1mmと小さい値であった。

なお、沈降量の測定は、コンクリート練混ぜから110分後より開始された。

また、柱頭におけるブリージングの観察では、ブリージングは認められなかった。

4. 9 充填の確認

圧入中の各階の柱上下に設けられた、火災時の蒸気抜き用の $\phi 9\text{mm}$ の穴よりのノロの漏出および打設後の打撃音による充填の確認によって、各部とも確実に充填されていることが確認された。

5. まとめ

以上の結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① 今回のマスコン用調合は一般用調合に比べ、発熱量を約40%抑制でき、また、発熱速度もおおよそ2分の1と緩やかであり、マスコン対策として十分に有効であることが判った。
- ② 凍結融解抵抗性については、「粉体系」高流動コンクリートのように高強度コンクリートであっても高い凍結融解抵抗性を有するには、4%以上の空気の連行を必要とする。
- ③ 長さ変化は、建築学会で定める「高耐久性鉄筋コンクリート造」のコンクリートの目標品質である乾燥期間6ヶ月で 7×10^{-4} 以下を満足していた。
- ④ 圧縮強度に関しては、材齢28日以降の強度の伸びは、普通ポルトランドセメントを使用した同程度の水セメント比の高強度コンクリートに比べ大きい。また、静弾性係数はNew RC式で近似することができる。
- ⑤ 圧入によってフローは約40%低下した。これは、鋼管内壁面へのペースト分の付着によるペースト分の低下ならびに、今回の場合、出荷から試験まで105分経過していたためにこのように大きな減少になったと考えられる。
- ⑥ 圧入時の側圧は、液圧の1.3倍であった。圧入終了時は液圧となった。
- ⑦ 圧入後のコンクリートの沈降量は約1mmであり、柱頭でのブリージングは認められなかった。
- ⑧ 充填の確認によって、充填性は良好であったことが確認された。このことから、本調合は圧入施工に対しても十分有用であることが判った。

〔謝辞〕最後に、実験を行うに当たり、ご協力を戴きました、安藤建設(株)東北支店工事課、(株)管知生コン、秩父セメント(株)(現：秩父小野田(株))、(株)ポゾリス物産仙台営業所、(株)エヌエムビーの関係者の皆様に感謝いたします。

〔参考文献〕

- [1] 立山創一ほか：ポンプ圧送性を改善した高流動コンクリートコンクリートのSRC造ブレースへの適用、第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集、pp.177-180、1994.5
- [2] 立山創一ほか：充填型鋼管コンクリート柱への高流動ノンブリージングコンクリートの圧入、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、pp.215-220、1993.6