

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19560465

研究課題名（和文）スーパーハイパフォーマンスグラウトの開発と性能評価方法の提案

研究課題名（英文）Development of Super High performance Grout and Proposal of its Assessment

研究代表者 出雲 淳一（IZUMO JUNICHI）

関東学院大学・工学部・教授

研究者番号：50183166

研究成果の概要（和文）：本研究は，150N/mm²以上の圧縮強度を有する超高強度グラウト（スーパーハイパフォーマンスグラウト）の製造を可能にするための手法を提案することを目的にしている．超高強度グラウトを実現するために，水セメント比が12%～20%の非常に小さい条件で練り混ぜ実験を行った．実験から目標とする強度を達成するためには，低水セメント比のみならず練り混ぜ方法が強度に影響を及ぼすことを明らかにした．また，本研究では，スーパーハイパフォーマンスグラウトの流動性を確保するために，水セメント比，砂の配合から流動性の指標となるフロー値を推定するための式を提案し，実験結果との精度が良いことを確認している．

研究成果の概要（英文）：

This study aims at developing the super high performance grout which has over 150N/mm² compressive strength. In order to produce the high performance grout, the mixing tests of the very low water cement ratio which is the rage from 12% to 20% were conducted. Through the test results, it was clarified that the super high strength grout could be produced and the strength was much affected by the mixing method. Moreover, the flow value was formulated by the W/C and the high water-reducing agent addition volume and the formulated equation was confirmed to be good correspondence with the tests results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：超高強度グラウト，シリカフュームセメント，フロー値，高性能減水剤，練り混ぜ方法

1. 研究開始当初の背景

(1) セメント系グラウトは，コンクリート

構造物の間隙を埋めて，コンクリートとの一体化を図るために用いられる．特にポストテンション方式のプレストレストコンクリート

ト(PC)構造の耐久性において、グラウトは重要な役割を果たす。

(2) グラウトの用途は単に PC のみならず、その利用範囲、目的などは広範囲に渡っている。最近、土木・建築の分野においては、コンクリートの設計基準強度が $80\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の超高強度コンクリートが用いられるようになってきた。しかし、そのような超高強度コンクリート構造に対して、その間隙を充填するための高強度グラウト材に関する具体的な配合方法、性能評価基準はなく、従来のグラウト材を超高強度コンクリート部材に適用しているのが現状である。

(3) 今後コンクリート構造物の高強度化、高耐久化が求められる中で、グラウト材にも高強度化が求められることが考えられる。しかし、超高強度コンクリート構造に適用できるグラウト材の製造に関する研究は行われていないのが現状である。

このような背景から、材料分離が生じることなく、充填性ならびに流動性に優れた、超高強度グラウトの製造方法を確立することを目指すことにした。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、セメント系超高強度グラウトを開発することを目的としている。開発目標としては、現行のコンクリートの設計基準強度と同程度の $80 \sim 150\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

(2) グラウトに要求される強度以外の要求性能として、材料分離が生じないこと、流動性に優れていることを開発の目標とした。

3. 研究の方法

(1) 超高強度を実現するために、練り混ぜの限界とされる水セメント $12 \sim 20\%$ の範囲での練り混ぜ試験を実施した。セメントには超高強度コンクリート用として使用実績のあるシリカフュームをプレミックスした低熱系セメントを使用した。細骨材には、グラウト用に一般的に使用されている砂(山形産 5 号)を用いた。砂の絶対密度は $2.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率は 0.25% であった。流動性を確保するために、ポリカルボン酸系の高性能減水剤も用いた。

(2) グラウトの製造に先立ち、攪拌時における羽の形状の違い(写真-1)がグラウトの練り混ぜに及ぼす影響を調べるために、煙を用いた拡散状況の可視化実験を行った。無風状態の恒温室内で線香をたき、煙が鉛直に立ち上がるのを確認して、それぞれの羽を回転数が 1300min^{-1} の攪拌機に取り付けて回転させ、煙を拡散させた。攪拌状況の一例を、写

真-2 および写真-3 に示している。



写真-1 攪拌機の羽の形状



写真-2 攪拌機による煙の攪拌(横に拡散)



写真-3 攪拌機による煙の拡散(縦に拡散)

(3) グラウトの練り混ぜ実験において、水セメント比(W/C)を $12 \sim 20\%$ に設定し、砂セメント比(S/C)を $0 \sim 30\%$ 、高性能減水剤の量をセメント量の $1 \sim 2\%$ に変化させて実験を行った。グラウトの練り混ぜには、ハンドミキサに攪拌羽を取り付けて行った。煙の可視化実験結果を踏まえて、練り混ぜ結果が良かった No.2 タイプの羽を回転性能 1300min^{-1} のハンドミキサに取り付けて、練り混ぜ試験を行った。試験項目としては、グラウト練り上がり後のフロー値および圧縮強度である。

4. 研究成果

(1) ハンドミキサに取り付ける羽の形状

によって、横に拡散するタイプと縦に拡散するタイプに分類することができた。横に拡散する場合の攪拌羽の場合、外周が全て丸い形状で、径の違い、羽の内部の穴の有無および大きさは、拡散に影響を与えないことが明らかとなった。ハンドミキサの回転数の違いが、拡散に与える影響に関しては、回転数が 1300min^{-1} よりも低い 1000min^{-1} のハンドミキサの場合には、拡散する範囲は狭くなったが、拡散方向には影響を与えなかった。

ハンドミキサの回転数は同じであっても羽の形状によって、およそ 15N/mm^2 程度の強度のばらつきが確認された。また、ハンドミキサの回転数が 1000min^{-1} および 550min^{-1} の場合、回転数が 1300min^{-1} の場合に比べて、練混ぜ効率が低下し、圧縮強度の低下や強度のばらつきが増加する傾向が認められた。

W/C が 12% の場合のグラウトの圧縮強度の試験結果を図-1 に示す。図中の棒グラフが圧縮強度の平均値で圧縮強度の最大値と最小値の差を縦の実線で示している。いずれの羽を用いた場合も目標とする強度 150N/mm^2 以上を得ることができた。

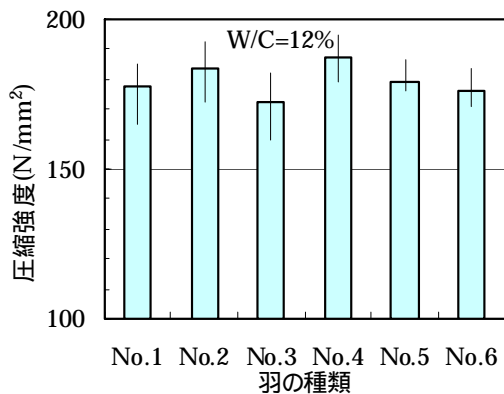


図-1 圧縮強度試験結果

(2) 図-2 は高性能減水剤の添加量をセメント質量の2.0%の一定にして、W/Cを12%~20%の範囲で、S/Cを0%、10%、20%、30%に変化させた場合のフロー試験を行った。各W/Cとフロー値の関係からは、S/Cの変化がフロー値にあまり影響を与えてない。

一方、図-3 は S/C を 0% の一定にして、高性能減水剤の添加の割合を 1.0%、1.5%、2.0% に変化させた場合の W/C とフロー値との関係を表している。W/C とフロー値との間にも相関性が認められた。高性能減水剤を増加させると、高性能減水剤の添加量に応じて、フロー値が増加する傾向が認められた。すなわち、高性能減水剤を添加すると、W/C とフロー値との関係（実験における回帰直線）を全体的に上方向に押し上げる傾向が確認された。これらの実験結果に基づき、配合条件から、

グラウト練り上がり後のフロー値を推定する式(1)を導出した。

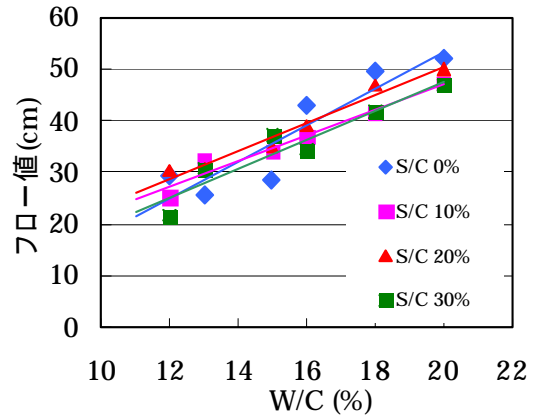


図-2 フロー値と W/C との関係 (S/C の影響)

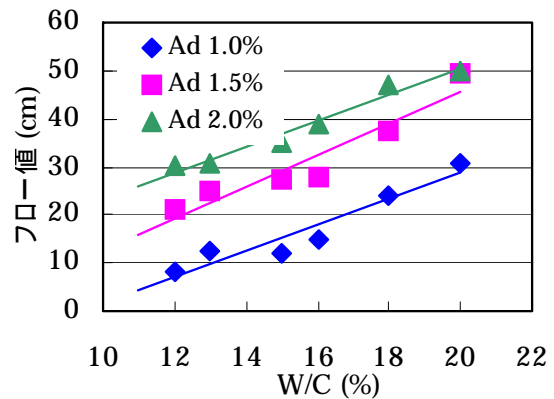


図-3 フロー値と W/C との関係 (高性能減水剤の影響)

$$F = 3.16(W/C) + (7.96Ad - 32.7) \quad (1)$$

ここに、F：フロー値

W/C：水セメント比(%)

Ad：高性能減水剤の添加量(%)

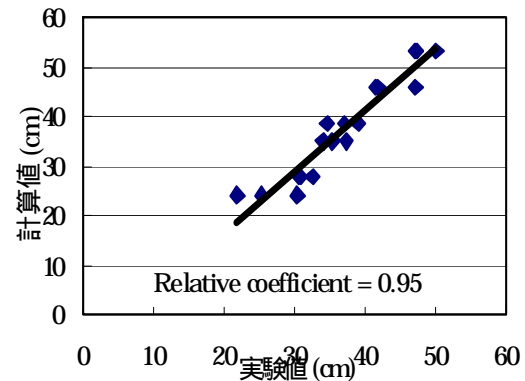


図-4 フロー値の計算結果

図-4 は、式(1)から算定されるフロー値の予測値と全ての実験結果をプロットしたものである。計算値と実験との相関性も良いことが確認された。

式(1)を適用することにより、グラウトに要求される流動性を配合設計時に設定することが可能となる。

(3) W/C を 12%~20%の範囲でグラウトを製造した場合の試験結果において、その多くが 150N/mm² 以上であったが、一部に 150N/mm² を下回るものもあった。

S/C が 0% の場合、圧縮強度が 150N/mm² 以上のグラウトを製造することが得られたが W/C が小さい 12%、15% では強度のばらつきが大きい結果となった。

S/C が 10% の場合においても、S/C が 0% の場合と同様に、W/C が 12%~15% の範囲において、強度のばらつきが大きく圧縮強度の平均値や強度の最小値が 150N/mm² 以下もあった。一方、W/C が 16~20% の場合、圧縮強度は 150N/mm² 以上となり、強度のばらつきも少ない。

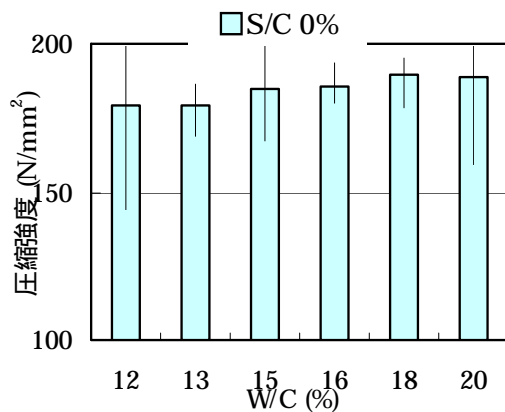


図-5 圧縮強度試験結果 (S/C=0%の場合)

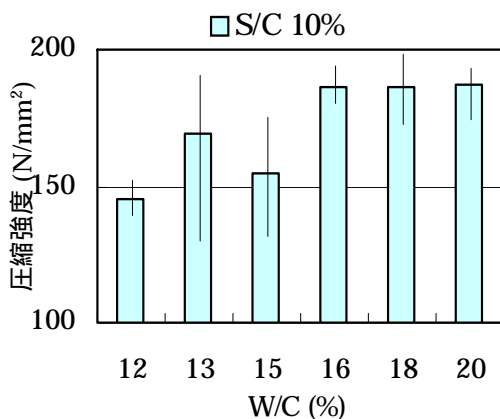


図-6 圧縮強度試験結果 (S/C=10%の場合)

S/C が 20% の場合、W/C が 12%~20% の範囲において圧縮強度は 150N/mm² 以上となり、強度のばらつきも比較的小さい。

S/C が 30% の場合、S/C が 20% の場合と同様に強度のばらつきは小さいが、圧縮強度の平均値は S/C が 0~20% の場合に比べて全体的に低く、150N/mm² 以下の結果も確認された。これは、グラウト中に占める珪砂の割合が他の配合に比べて相対的に多くなるために、結合材であるセメントマトリックスが減少したことによるものと考えられる。

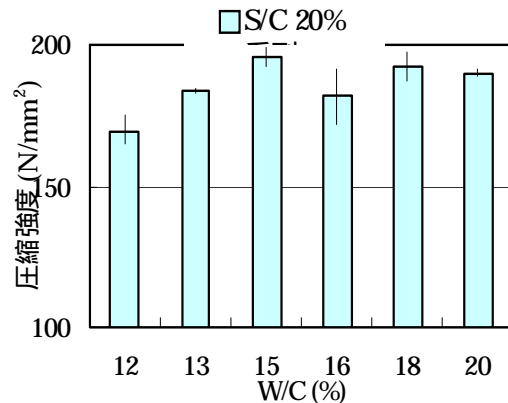


図-7 圧縮強度試験結果 (S/C=20%の場合)

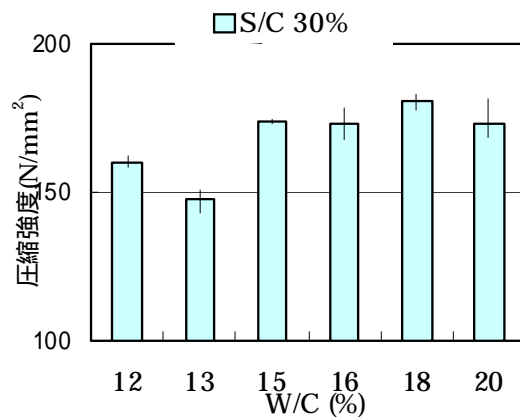


図-8 圧縮強度試験結果 (S/C=30%の場合)

高強度を目的に W/C を練り混ぜの限界のまで低くした今回の範囲においては、従来の水セメント比則が適用できないことが確認された。

W/C が 12%~20% の範囲において、W/C が小さくなくても、強度が増加しない理由としては、グラウト内部に残留する気泡などの微細な欠陥が存在しているためではないかと考えられる。

表-1 圧縮強度試験結果

W/C(%)	12	13	15	16	18	20
S/C10% Ad2.0%						
圧縮強度 (N/mm ²)	145.6	169.3	155.0	186.5	186.4	186.8
S/C20% Ad2.0%						
圧縮強度 (N/mm ²)	169.8	183.7	195.9	182.1	192.6	190.4
S/C30% Ad2.0%						
圧縮強度 (N/mm ²)	160.4	147.5	173.6	173.1	180.7	172.9
S/C0% Ad 1.0%						
圧縮強度 (N/mm ²)	154.9	150.6	176.1	164.1	172.9	179.7
S/C0% Ad 1.5%						
圧縮強度 (N/mm ²)	183.2	195.1	177.8	187.5	172.9	158.2
S/C0% Ad 2.0%						
圧縮強度 (N/mm ²)	179.2	179.7	185.4	186.1	189.7	189.1

W/C が 12%レベルの練混ぜの極限に近い領域では、今回使用したハンドミキサにおいて負荷が大きく、W/C が小さくなるのに伴い練混ぜ効率はかなり低下する。実験結果からは、細骨材を含まないグラウトよりも、細骨材をある程度含んだグラウトの方が強度のばらつきは小さい。すなわち、細骨材の存在は練混ぜの過程において、セメント粒子間をせん断し、内部構造の均一化に影響しているのではないかと推察される。

(4) 前述の研究成果をまとめると、以下の通りとなる。

圧縮強度が 150N/mm² 以上のセメント系グラウトをW/Cが12%~20%の領域で製造することができた。

圧縮強度が 150N/mm² 以上のグラウトを実現するために、W/Cを12%~20%の範囲で小さくすることはあまり重要ではなく、この領域での強度発現にはむしろ、均一なグラウトの練り混ぜが可能となるような練り混ぜ方法の確立が重要である。

超高強度グラウトを実現するためには、ある程度の珪砂を混入した方が良い結果となった。これは、細骨材の存在は練混ぜの過程において、セメント粒子間をせん断し、内部構造の均一化に寄与していると推察されることによる。しかし、珪砂の量が増すと、強度に対して逆効果にもなり、最大で、S/C=20%が望ましい。

グラウトのフロー値を予測できる実験式を提案した。本式により、グラウトに要求される流動性を配合設計時に設定することが可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

出雲淳一：超高強度グラウトの製造に関する基礎的研究，第17回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，査読有り，プレストレストコンクリート技術協会，pp.413-418，2008年11月

高橋正亨，関島謙蔵，出雲淳一：超高強度グラウトの製造および流動性に関する基礎的実験，セメント・コンクリート論文集，査読有り，No.63，セメント協会，pp.493-498，2010年2月

〔学会発表〕(計1件)

高橋正亨，出雲淳一：超高強度グラウトの製造に関する実験，土木学会第64回年次講演会，2009年9月4日，福岡大学七隈キャンパス（福岡市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

出雲 淳一 (IZUMO JUNICHI)
 関東学院大学・工学部・教授
 研究者番号：50183166