

◇技術紹介 Technical Report

補修・逆打ち用グラウトの開発
Development of Grout for Repair and Reverse Placing

小柳 光生 Mitsuo Koyanagi
 川口 徹 Toru Kawaguchi

1. はじめに

これまで逆打ちコンクリート工法や耐震補強工事の充填用グラウトとして使用されている市販の「無収縮グラウト」の代替として、経済的な膨張性のモルタルグラウトを開発した。1997年7月に神戸クリエイティブJV工事の逆打ち工法グラウトに初めて採用されて以来、現在、低コストグラウトとして既に多くの施工実績を得ている。

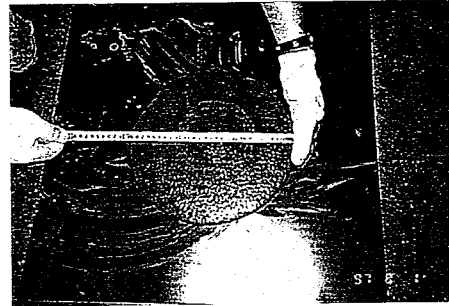


Photo 1 モルタルスランプフロー
Slump Flow of Mortar

2. 技術概要

2.1 技術の特徴

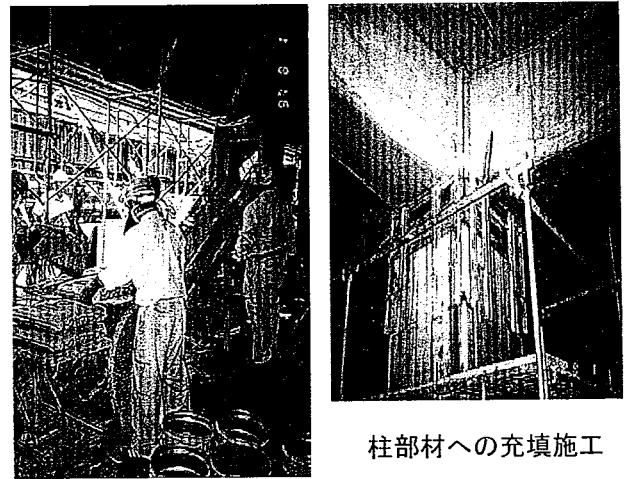
グラウト材に要求される性能は、充填に必要な①高流動性、②無収縮性（初期）の他、③所要強度、④作業性、⑤経済性である。

開発したモルタルグラウトは品質として優れているだけでなく、低コストでかつ作業性も良好である。このグラウトの目標品質をTable 1に示す。基本的には、現場計量の高強度（保証強度：40N/mm²以上）・高流動モルタルである。市販のグラウト材は、流動性がかなり高い仕様となっている。しかし、逆打ちコンクリートのように充填高さが10cm程度と隙間が比較的大きい場合、市販のグラウト材はやや過剰な流動性であると判断し、施工確認試験の結果から、コンクリートスランプフローに換算して、70cm程度の流動性状を目標とした。また膨張剤は、反応遅延タイプの特種膨張剤を使用し、その膨張率は充填性や一体性を確保出来るように、1~2%（許容範囲0.5~3%）を目標とする。

2.2 施工方法

グラウトモルタルの特徴はどこでも入手可能な市販のセメント、左官砂、高性能AE減水剤の他、微量の特種膨張剤を所定の割合で調合したものである。セメントは早強セメントを標準とするが、夏場は普通セメントでも良い。また、左官砂の濡れ具合は、表面水率0~3%を原則とし、塩分量も規制値内のものを使用する。なお高性能AE減水剤の主成分は、ポリカルボン酸系である。

投入する水量は、左官砂の表面に付着している表面水率を考慮して、この調査表の90%を目安とするが、砂の表面水率、外気温の変動を考慮して、モルタルスランプフロー30±3cmになるように、混練りの段階で水量を増減させて調整してよい。この水量の増減による強度等の品質への影響は後述するように特に問題ない。膨張剤は極微量の使用のため、薬包で投入する。また混練り後、しばらくすると膨張を開始するため、混練り開始して1時間以内で速やかに打込み完了するように計画する。



柱部材への充填施工

Photo 2 現場計量による混練り状況
State of Field Mixed Concrete

Table 1 グラウト品質目標値
Target of Grout Quality

| 項目 | 開発グラウト | 市販無収縮グラウトの例 |
|-------|--------------------------|------------------------|
| ①軟度 | モルタルスランプフロー 30 ± 3 cm | J14 ロート 8 ± 2 秒 |
| ②膨張率 | 0.5~3.0% | 実績 0.4% |
| ③圧縮強度 | 40 N/mm ² 以上 | 実績 52N/mm ² |

いずれにしても混練り手間や管理手間は従来の現場計量方法と殆ど変わらない。

なお、膨張剤の膨張効果は、雰囲気温度によって異なり、後述するように、低温になるほどその効果は低下する傾向にあるため注意が必要である。特に5℃以下では膨張効果が殆ど無くなるため、この期間では使用しない方が望ましい。やむをえず使用する場合、温水使用や初

期養生など何らかの対策が必要となる。逆に外気温が30℃を越えるような場合、膨張開始が早く、フロー低下を起こすことがあるため、打込み完了時間は上述の時間よりも短い方が良い。また冷却水の使用を検討する。

原則として、事前に使用材料を使って試し練りを行い、流動性の他、膨張率、圧縮強度など品質を確認するようにする。

3. 品質性能試験結果

3.1 スランプ性状

コンクリートスランブコン (JIS A 1101) とモルタルスランブコン (頂部内径5cm, 底部内径10cm, 高さ15cm) のスランブフロー性状の関係を調べ、Fig. 1に示す。対応関係が良好であったため、実務上の軟度の管理は扱い易いモルタルコンで行い、施工試験結果を参考に、フロー30±3cmを目標とした。

3.2 温度と膨張率の関係

膨張率試験は、モールドφ150×150mmにフレッシュコンクリートを採用し、変位計を用いて翌朝までの膨張量 (頂部変形量) から測定して次式によって膨張率を算定した。

$$\text{膨張率 (\%)} = \frac{\text{膨張量}}{\text{コンクリート打込み高さ}} \times 100$$

測定例をFig. 2に示す。Fig. 3に雰囲気温度と膨張剤使用量を要因とした膨張率を測定し、整理して示す。膨張剤使用量が多いと過大な膨張率を生じる一方、低温ほど所要膨張率を確保するために添加量を増やす必要があることを示している。5℃以下では膨張効果が殆ど無いことが分かる。

3.3 強度試験結果

圧縮強度、割裂強度および曲げ強度をTable 2に示す (膨張剤添加は30g/m³)。養生は温度20℃封かん養生で、この時の膨張率は1.5~2.0%であった。この表から割裂強度、曲げ強度いずれも通常のコンクリート設計強度30N/mm²以上の性能を有することが分かる。また別途行った材齢91日までの圧縮強度試験結果をFig. 4に示すが、長期強度としても安定している。

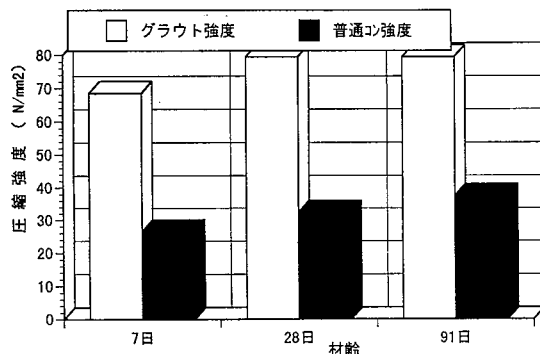


Fig 4 圧縮強度の長期的性状
Compressive Strength in Long Term

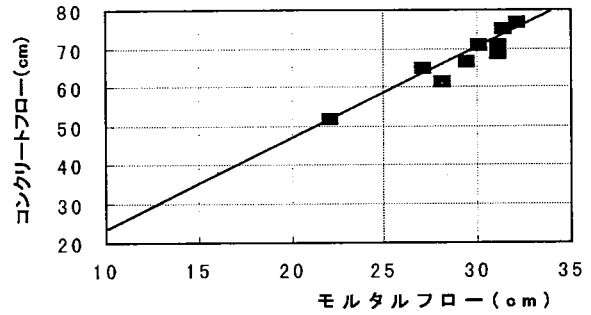


Fig. 1 コンクリートとモルタルフローの関係
Relation of Concrete Flow and Mortar Flow

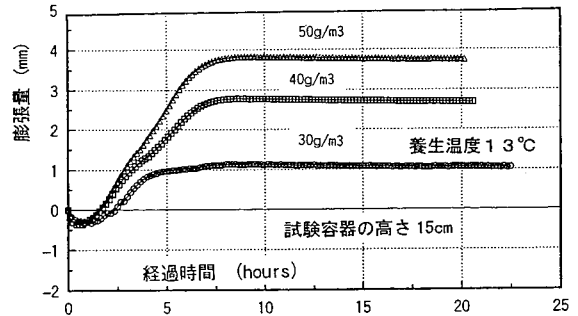


Fig. 2 膨張率測定結果
Measurement Results of Expansion Ratio

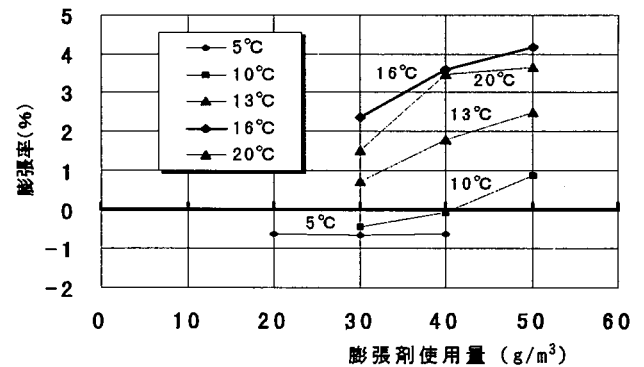


Fig. 3 雰囲気温度・膨張剤使用量と膨張率の関係
Relation of Exp. Ratio and Air Temp., Admixture Cont.

Table 2 グラウト強度試験結果
Result of Grout Strength Test

| 強度の種類 | 7日強度 (N/mm ²) | | 28日強度 (N/mm ²) | | 備考 |
|-------|---------------------------|------|----------------------------|------|---|
| | 平均値 | | 平均値 | | |
| 圧縮強度 | 62.8 | 60.4 | 57.3 | 63.6 | φ50×100 |
| | 56.1 | | 64.2 | | |
| | 62.2 | | 65.0 | | |
| | 61.7 | | 67.3 | | φ100×200 E ₂₈ =3.04×10 ⁴ |
| | 59.0 | | 63.7 | | |
| 60.6 | 67.0 | | | | |
| 割裂強度 | 4.80 | 4.50 | 4.94 | 4.94 | — |
| | 4.10 | | 5.05 | | |
| | 4.59 | | 4.83 | | |
| 曲げ強度 | 7.35 | 6.77 | 8.19 | 8.16 | — |
| | 6.53 | | 8.06 | | |
| | 6.44 | | 8.22 | | |

3.4 表面水量のばらつきと圧縮強度の関係

砂の表面水のばらつきに伴う単位水量の変動が圧縮強度に及ぼす影響を調べた。単位水量（混練り水）増加とモルタルフロー増加の関係をFig. 5に示すが、単位水量は 20kg/m^3 の割り増しでモルタルフロー値は 27cm から 33cm の変化であった。次に単位水量を 20kg/m^3 まで割り増した時の圧縮強度低下の推移を同図に示す。混練り水増加で 13N/mm^2 の強度ダウンがあったが、この場合でも最低 50N/mm^2 以上の強度は保有しており、所要値 40N/mm^2 を満足した。

この結果から、混練り水を調整してモルタルフロー $30 \pm 3\text{cm}$ で管理すれば強度上も特に問題ないといえよう。

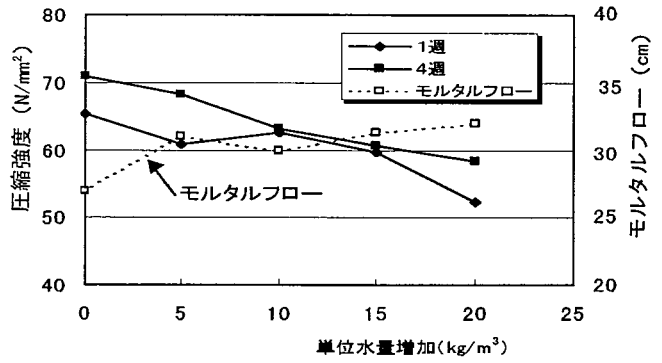


Fig. 5 単位水量の増減と強度・フローの変化
Strength and Flow on Water Increase and Decrease

3.5 打継ぎ部のせん断強度試験結果

グラウト注入施工を模擬して、Fig. 6に示すせん断強度試験体を製作した。これは実際の施工に近い状況で一体性を調べるための打継ぎ部のせん断試験である。先打ちコンクリートを上面にセットし、下面の隙間部にグラウトを圧入した。打継ぎ処理は目荒らしと平滑面（合板型枠跡）の2種類とした。試験結果をTable 3に示すが、目荒らし面で 2.36N/mm^2 、平滑面で 1.59N/mm^2 のせん断強度であった。平滑面では目荒らし処理を行った場合よりもせん断強度は低下するものの設計強度 $F_c=27\text{N/mm}^2$ の短期許容せん断応力度 1.14N/mm^2 を十分に上回っていた。

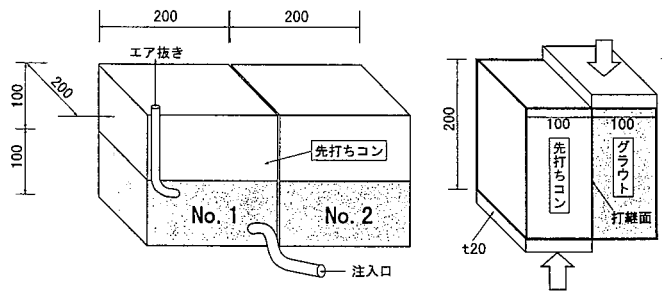


Fig. 6 打ち継ぎ部せん断試験方法
Testing Method of Shear Strength at Construction Joint

4. 長期性状について

4.1 クリープ変形と乾燥収縮変形

グラウトの乾燥収縮歪みとクリープ性状は、普通コンクリートの性状と遜色ないことを確認するため、普通コンクリート $F_c 30\text{N/mm}^2$ ($W/C=58\%$)と比較試験を行った。クリープ試験の持続応力はグラウトで 10N/mm^2 と 15N/mm^2 、普通コンクリートで 10N/mm^2 の3水準とした。載荷材齢は全て4週で各々2体ずつ。また自由収縮用の試験体も2体ずつとした。打込み後、材齢3日に脱型し、恒温恒湿室 (20°C , $60\%R.H$) で気中養生を行った。なお、試験体形状はクリープ試験、乾燥収縮試験とも $\phi 100 \times$

Table 3 打ち継ぎ部せん断強度試験結果

Test Result of Shear Strength at Construction Joint

| 記号 | 界面処理 | 試験材齢 | せん断強度 | |
|---------|------|------|---------------------|------|
| | | | (N/mm^2) | 平均値 |
| シリーズ I | 目荒らし | 6日 | 2.02 | 2.36 |
| | | | 2.70 | |
| シリーズ II | 平滑 | 16日 | 1.28 | 1.51 |
| | | | 1.82 | |
| | | | 1.43 | |
| | | 28日 | 1.64 | 1.59 |
| | | | 1.54 | |
| | | | (2.51) | |

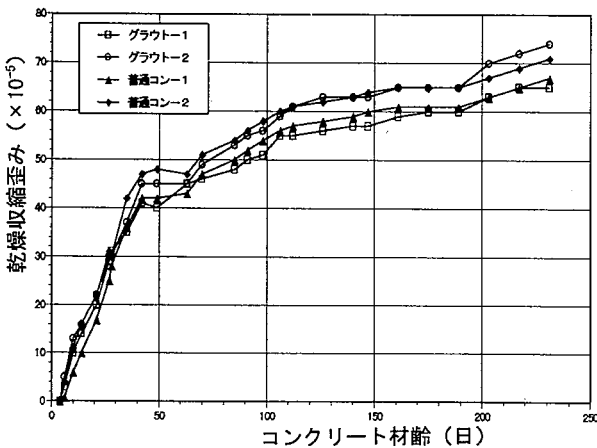


Fig. 7 乾燥収縮の動き
Movement of Drying Shrinkage

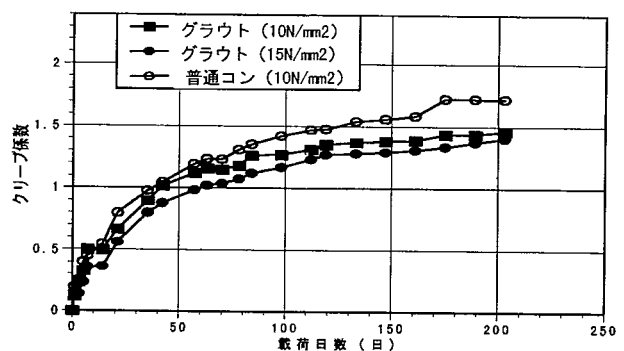


Fig. 8 クリープ係数の動き
Movement of Creep Coefficient

200. 歪みの測定は、コンタクトゲージを使用した。

乾燥収縮歪みの測定結果をFig. 7に示す。グラウトは材齢6ヶ月で 6×10^{-4} の収縮歪みであり、普通コンクリートとほぼ同じ挙動であった。クリープ係数の測定結果をFig. 8に示す。グラウトはモルタルにも関わらず、コンクリートと同等の性能を有することが分かった。

なおTable 2に示すようにグラウトの弾性係数は $3.04 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ であり、Fc30程度の普通コンクリートの弾性係数とほぼ同等である。

以上のことからグラウト力学特性はFc30程度の普通コンクリートと比べて遜色ないといえよう。躯体コンクリート設計基準強度が 36N/mm^2 以下であれば本グラウトは適用できると判断している。

4.2 中性化試験

材齢4週まで養生した試験体を中性化促進室 (CO_2 , 5%) にて、促進養生3ヶ月時点、6ヶ月時点の測定を行った。試験体形状は $100 \times 100 \times 400 \text{mm}$ とし、2調合について各々3本製作した。相対する2面はエポキシ樹脂でシールし、他の2面からの中性化深さを調べることにした。各材齢毎に、1本ずつ(1本当たり2断面切断し、中性化深さを測定)試験に供する。試験結果をTable 4に示す。促進期間6ヶ月間で普通コンクリートは平均11mmの中性化であったが、グラウトの場合、全く中性化していなかった。グラウトは中性化制御の観点から、非常に高い耐久性能を有することが分かった。

4.3 界面部の収縮ずれの検討

ここでは先打ちコンクリートと後打ちグラウトとの収縮差が界面部に与える影響について考察する。Fig. 7の乾燥収縮歪みを参考に、その養生条件、部材厚さなどを考慮すれば、実際の躯体グラウトと先打ちコンクリートとの収縮歪み差は、せいぜい $3 \sim 4 \times 10^{-4}$ 以下と推定される。拘束度を0.5に設定すれば拘束応力歪みは $1.5 \sim 2 \times 10^{-4}$ となり、これはコンクリートの伸び歪み限度にほぼ対応している。さらに充填高さは10cm程度であることを考えると、仮に界面で肌分かれしても先打ちコンクリートとの収縮差に伴う変形は非常に小さく、せん断応力の上から無視できると判断される。

5. 現場での適用結果

本グラウトの現場適用例を紹介する。

工事名称：神戸 A 新築工事

階数：地下6階 (GL-35m)，地上14階，塔屋1階

構造：地上部S造，地下部RC耐力壁を有するSRC造

躯体コンクリート設計基準強度： 27N/mm^2

上記の現場は、工期短縮のため逆打ち工法で地下躯体を施工しており、地下4階にわたり延べ 150m^3 のグラウト工事を行った。

本グラウトの施工性や品質を確認するため、施工に先

Table 4 中性化深さ測定 (促進試験180日)
Carbonation Depth Data (Accelerated 180 days)

| 種類 | 試験体 No. | 中性化深さ (mm) | 備考 |
|----------|---------|------------|--|
| 本グラウト | G-1 | 0 | 促進条件 CO_2 : 5% 温度: 30°C |
| | G-2 | 0 | |
| | G-3 | 0 | |
| 普通コンクリート | N-1 | 11 | |
| | N-2 | 10 | |
| | N-3 | 10 | |

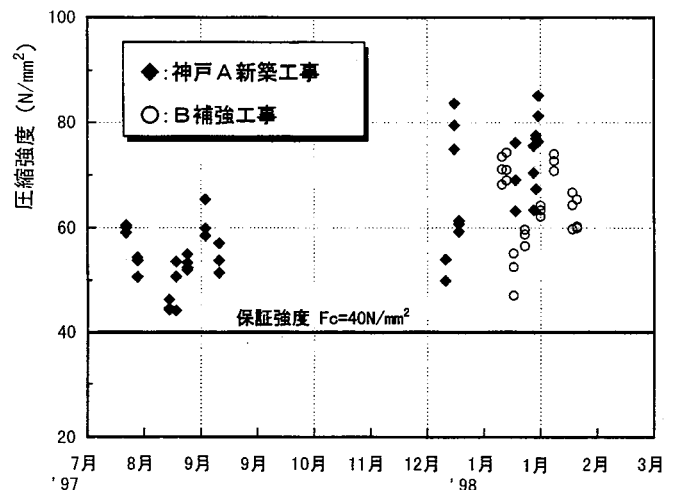


Fig. 9 圧縮強度管理データ
Compressive Strength Data in Site

立ち模擬部材を製作し、施工試験を行った。その結果、施工性、充填状況ともに良好であることを確認した。その時の膨脹率は0.95%、圧縮強度は材齢7、28日それぞれ 68.2N/mm^2 、 74.2N/mm^2 であった。

第1回の地下1階のグラウト本施工は8月で夏季のため普通セメントを使用した。工事は既に完了しているが、順調に施工でき、充填性、強度発現も良好であることを確認した。Fig. 9に2現場での圧縮強度管理データを示す。いずれも保証強度を十分満足していた。

6. まとめ

経済的な充填グラウトを開発し、逆打ち工法使用の大規模工事やリニューアル補強壁などの小規模工事など既に10現場で採用され、支障なく施工されている。今後、さらに施工マニュアルを充実し、社内への水平展開を図りたい。

参考文献

- 1) 小柳, 川口: 補修・逆打ち用充填グラウトの開発に関する試験報告—クリエイト工法—; 所内報告書 1998年5月