

# V-24

## スパイラルの回転によるグラウトについて

北海道工業大学 ○学生員 川村 茂  
北海道工業大学 正 員 犬塚雅生  
北海道工業大学 正 員 佐々木勝男

### 1. 緒言

グラウトの必要な局面は、土木又は建築の分野において多数見られる。プレキャスト版を用いる舗装の補修では、コンクリート版を結合する鉄筋を挿入し、グラウトする。<sup>1)</sup> 継手の強度、剛性及び靱性は、主にグラウト材と定着長によって大きな影響を受ける。<sup>2)</sup> 本研究はスパイラルを用いてグラウトを行い、この工法に関する基礎資料を得ることを目的としている。スパイラルの回転によるグラウト材の単位時間当たりの輸送量及び輸送速度について試験した。次にグラウト空間における充填度を測定し、グラウト材のフロー値とスパイラル長との関係を明らかにした。更に、スパイラルを巻き付けた影響について引抜強度を試験した。

### 2. グラウト機構

#### (1) グラウト

スパイラルを利用して推進作用を発生させるため、鉄筋になまし鉄線を螺旋状に巻き付けた棒鋼を製作した。この棒鋼をスパイラル鉄筋と呼び、鉄線を巻き付けた部分をスパイラル部、鉄線を巻き付けてない部分をノーマル部と呼ぶ。スパイラル部の長さをスパイラル部長と呼ぶ。これらの名称を写真-1に示す。グラウトする空間にスパイラル鉄筋を挿入する。スパイラル鉄筋を回転させながらグラウト材を供給口から供給する。

#### (2) スパイラルグラウトのモデル化

スパイラルグラウトのグラウト機構を分析するためモデル化を行った。グラウトの様子を確認できるように透明のプラスチックパイプをスリーブに使用した。スパイラル鉄筋を回転させる。0回

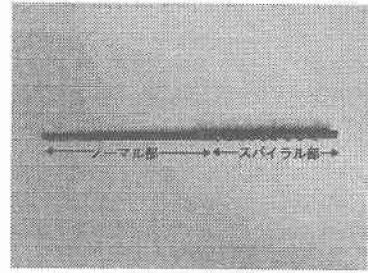


写真-1 スパイラル鉄筋

転、10回転、20回転、30回転のグラウト状態を撮影した。10回転させたときの状態を写真-2に示す。30回転させたときの状態を写真-3に示す。写真-2よりグラウト材がスパイラル部によって押し出されていることが判る。写真-3より壁体付近でモデルグラウト材が密に充填されていることが判る。

#### (3) スパイラルの作用

回転中のスパイラル鉄筋には力が作用している。鉄線と垂直方向の剪断力はグラウト材を剪断する剪断力である。鉄線と水平方向の摩擦力はグラウト材と鉄線との間に生じる力である。剪断力と摩擦力の合力を $P$ とする。スパイラル鉄筋を回転させている回転力を $T$ とすると、 $P < T$ であればスパイラルグラウトを行うことができる。剪断力の増加による回転停止が充填度試験などにおいて見られた。

### 3. 使用材料及び機材

#### (1) スパイラル鉄筋

鉄筋の先端を固定してスパイラルを成形した。横フシ型異形棒鋼SD-D10を使用した。鉄線は、なまし鉄線を使用した。鉄線のテンションを一定に保つため鉄線の末端に20kgの重りを装着する。ハンドルを装着させている鉄筋先端部分を

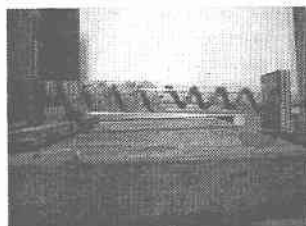


写真-2 10回転後

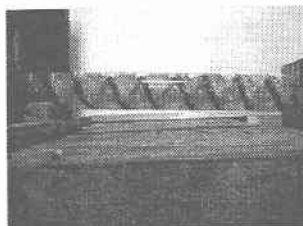


写真-3 30回転後

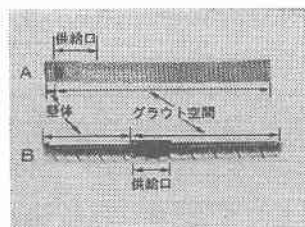


写真-5 30回転後

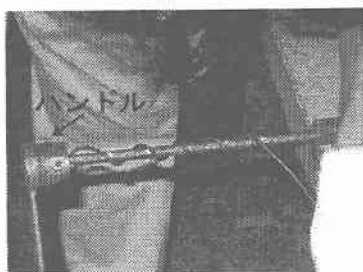


写真-4 巻き付け状況

切断する（写真-4参照）スパイラル鉄筋を写真-1に示す。

## (2)グラウト材

グラウト材としてセメントモルタルを使用した。グラウト材の詳細を表-1に示す。混和剤には高性能AE減水剤を使用した。フロー値の測定法は二種類の測定法を用いた。配合番号1のグラウト材には、JIS R 5201試験法を用いた。配合番号2、3のグラウト材には、J S C E - F 531試験法を用いた。

## (3)スリーブ

壁体を設けて、スパイラル鉄筋の移動を防止した。実験ではA、B二種類のグラウトスリーブを用いた。Aは内径2.5mm、外径?mm、肉厚?mmの塩化ビニールパイプを加工したものである。BはJIS G 3303準拠であるスパイラルシースを加工したものである。内径20mm、外径22.5mm、鋼板厚0.25mmである。これらを写真-5に示す。グラウト空間の体積は断面積\*長さで表す。

## (4)ホッパー

グラウト材の流動性の変化への対応と補給安定性

表-1 グラウト材の配合及びフロー値

| 配合番号 | 水セメント比 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |                |               | 混和剤 (g/m <sup>3</sup> ) | フロー値  |
|------|------------|-------------------------|----------------|---------------|-------------------------|-------|
|      |            | 水                       | セメント (比重:3.15) | 細骨材 (比重:2.57) |                         |       |
| 1    | 40         | 279                     | 697            | 1280          | 3500                    | 202   |
| 2    |            |                         |                |               | 4250                    | 88sec |
| 3    |            |                         |                |               | 7000                    | 49sec |

を確保するためアルミ板製ホッパーを用いた。グラウト材の供給は自重による流下とした。

## (5)回転機

スパイラル鉄筋に回転力を与えるために手動式ハンドルと充電ドライバードリルを用いた。120R.P.Mの回転には手動式を用い、300R.P.M、850R.P.Mには、充電ドライバードリル式を用いた。ドリルの空転によりトルクを一定に保った。

## 4. 輸送量試験および輸送速度試験

スパイラルグラウト法における仕事率については、輸送量試験にて単位時間当たりのグラウト材輸送量を測定する。また、輸送速度試験よりスパイラル部長と輸送速度との関係を求めた。

### (1)輸送量試験

直交配列表を用いて四因子三水準L27直交配列の実験計画を行う。測定値を分散分析し、各因子の寄与を考察する。この試験における因子及び水準を表-2に示す。

### (2)輸送量の測定方法

実験装置及び測定方法を以下に示す。なお、グラウト空間は4.91cm<sup>2</sup>\*20cmである。

①、実験台の上に塩化ビニールグラウトスリーブ

表-2 輸送量試験における因子と水準

|                | 1水準   | 2水準   | 3水準 |
|----------------|-------|-------|-----|
| グラウト材のフロー値     | 49sec | 88sec | 202 |
| スパイラルのピッチ(mm)  | 15    | 30    | 45  |
| 回転速度(R.P.M)    | 120   | 300   | 850 |
| スパイラル鉄筋鉄線径(mm) | 2.5   | 3.5   | 4.5 |

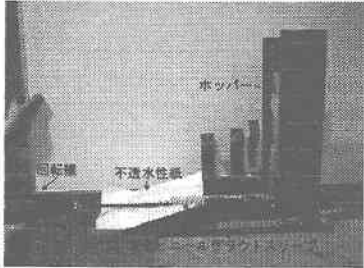


写真-6 輸送量試験装置

置き、直線になるように固定する。ホッパーを設置した側を供給側と云い、回転機を設置した側を回転側と云う。写真-6に示す②、不透水性紙の重量を測定する。③、回転側の塩化ビニールグラウトスリーブの下に不透水性紙を敷く。④、グラウト材をホッパーの2／3の高さまで注ぐ。⑤、スパイラル鉄筋を回転させ、回転側の塩化ビニールグラウトスリーブの口からグラウト材を十秒間流出させる。⑥、流出したグラウト材重量を測定する。なお、この測定重量には、不透水性紙の重量も含まれている。⑦、⑥にて測定した重量と不透水性紙重量の差からグラウト材のみの重量を算定する。⑧、グラウト材重量を次式を用いて単位体積重量に換算する。

$$K = (a + s + c) / V \cdots \cdots (1)$$

但し、K：グラウト材の単位体積重量 (g/cm³)、a：配合設計における水の総重量 (g)、b：配合設計における細骨材の総重量 (g)、c：配合設計におけるセメントの総重量 (g)、V：配合設計における総体積 (cm³)。⑨、次式にて単位時間当たりの輸送量値とする。

$$I = P / K \cdots \cdots (2)$$

但し、I：輸送量 (cm³/10sec) P：十秒間の輸送グラウト材量 (g)。

(3)試験結果及び考察

輸送量試験における分散分析結果を表-3に示す。グラウト材のフロー値及び回転速度が、危険

率1% 表-3 輸送量試験における分散分析結果

|             | 平方和     | 自由度 | 平均平方和   | F値    |
|-------------|---------|-----|---------|-------|
| グラウト材のフロー値A | 37576.2 | 2   | 18788.1 | 39.12 |
| スパイラルのピッチB  | 2899.56 | 2   | 1449.78 | 3.02  |
| 回転速度C       | 39246.7 | 2   | 19623.4 | 40.86 |
| 鉄線径 D       | 5189.25 | 2   | 2594.63 | 5.4   |
| 交互作用A*B     | 2025.81 | 4   | 506.45  | 1.05  |
| 交互作用B*C     | 4563.25 | 4   | 1140.81 | 2.38  |
| 誤差          | 4802.43 | 10  | 480.24  |       |
| 合計          | 96303.2 | 26  |         |       |

で有意となった。また、鉄線径が危険率5%で有意となった。グラウト材の主効果グラフを図-1に示す。グラウト材の流動性が低下するにしたがって輸送量値も低下する。回転速度の主効果グラフを図-2に示す。回転数の増加に伴って輸送量も増加する。鉄線径の主効果グラフを図-3に示す。鉄線径が大となるにしたがって輸送量値も大となる。しかし、鉄線径3.5mm以上では、鉄線径を大きくとっても輸送量増加には効果が低い。

(4)輸送速度試験におけるスリーブ、スパイラル鉄筋及びグラウト材の詳細

グラウト空間4.91cm²×200cmの塩化ビニールグラウトスリーブを製作する。横フシ型異形棒鋼SD-D10を使用して、スパイラル部長25, 50, 100, 150, 200cmのスパイラル鉄筋を製作する。どのスパイラル鉄筋も鉄線径3.5mmのなまし鉄線を使用し、スパイラルのピッチを30mmとする。グラウト材は表-2の配合番号3を使用する。

(5)輸送速度

回転速度300R.P.Mでスパイラル鉄筋を回転させる。回転開始からそれぞれのスパイラル部長までのグラウト材到達時間及び200cm到達時間を測定する。

(6)輸送速度試験の結果及び考察

試験結果を図-4に示す。スパイラル部長の増加に伴って無理関数的に輸送速度も増加すると言える。表-4は、各スパイラル部長別のスパイラル部及びノーマル部の輸送速度である。スパイラ

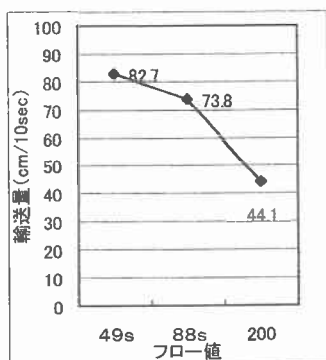


図-1 フロー値の主効果グラフ

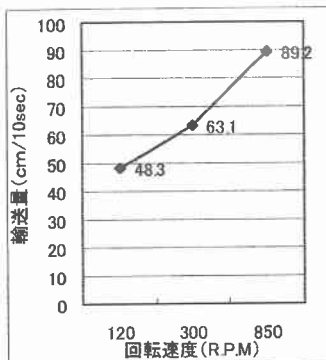


図-2 回転速度の主効果グラフ

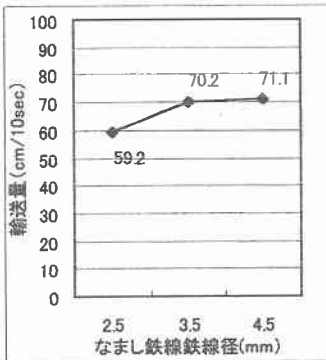


図-3 鉄線径の主効果グラフ

表-4 部分別における輸送速度

| スパイラル部長 (cm) | スパイラル部における輸送速度 (cm/sec) | ノーマル部における輸送速度 (cm/sec) |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| 25           | 3.13                    | 1.45                   |
| 50           | 4.54                    | 2.14                   |
| 100          | 3.7                     | 2.27                   |
| 150          | 3.26                    | 2.17                   |
| 200          | 3.08                    |                        |

部長の大小に関わらずノーマル部における輸送速度はほぼ一致している。ノーマル部の輸送速度はスパイラル部長の大小に関わらずほぼ一定であった。

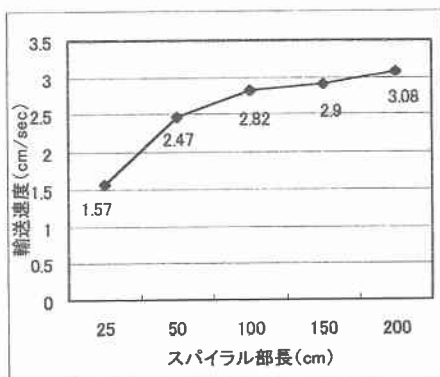


図-4 スパイラル部長と輸送速度の関係

## 5. 充填度試験

### (1) 実験概要

グラウト空間のグラウト部分について比重を測定する。40mm\*40mm\*160mm供試体型枠にグラウト材を打ち込み、1日養生して硬化させ、その空中重量及び水中重量から比重を算定したものを標準比重とする。これは2.28である。この値以下の測定値の場合は、空隙が多い。

第一次充填度試験に三因子三水準L27直交配列表を用いる。測定値から比重を算出し分散分析を行う。この試験における因子及び水準を表-5に示す。第二次充填度試験として、第一次充填度試験の分散分析を行った結果、寄与の高い要因について検討する。

### (2) グラウト法

充填度試験におけるグラウト法及び充填度測定法を以下に示す。なお、グラウト空間は3.14cm

2\*20cmである。①実験装置を写真-7に示す。シースグラスリーブを固定しスパイラル鉄筋を挿入する。②、常に一定量のグラウト材をホッパーに供給できるように作製した計量管を使用し、計量したグラウト材をホッパーに注ぐ。③、回転速度300RPM、上限トルク25kg-cmでスパイラル鉄筋を30秒間回転させる。回転開始から30秒経過する以前に空転が3秒以上継続した場合は、そこで回転終了とする。④、グラウト終了後、ホッパーを供給口から外し、供給口のグラウト材を水平にならして、一日養生する。

### (3) 充填度測定法

養生後の供試体の空中重量及び水中重量を測定する。なおこれらの測定値には、スパイラル鉄筋およびシースグラウトスリーブの重量が含まれている。次式を用い充填したグラウト材のみの比重を算定する。

$$M = \{B / (B - W)\} - \{B' / (B' - W')\}$$

表一五 充填度試験における因子及び水準

|             | 1水準   | 2水準   | 3水準   |
|-------------|-------|-------|-------|
| グラウト材のフロー値A | 49sec | 88sec | 202   |
| スクリューの長さ B  | 50mm  | 100mm | 200mm |
| グラウト材の位置水頭C | 100mm | 200mm | 300mm |

表一六 充填度試験の分散分析結果

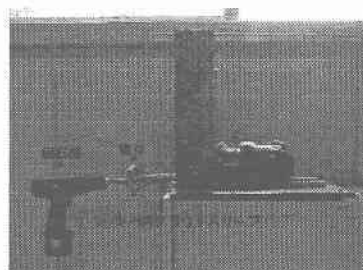
|             | 平方和      | 自由<br>度 | 平均平<br>方和 | F値   |
|-------------|----------|---------|-----------|------|
| グラウト材のフロー値A | 0.018022 | 2       | 0.00901   | 1.65 |
| スパイラル部長 B   | 0.249489 | 2       | 0.12474   | 22.8 |
| A*B交互作用     | 0.028222 | 4       | 0.00706   | 1.29 |
| A*C交互作用     | 0.042178 | 4       | 0.01054   | 1.93 |
| 残差(e)       | 0.076489 | 14      | 0.00546   |      |
| 合計          | 0.4144   | 26      |           |      |

..... (3) 但し、M：比重、B：グラウト後の供試体空中表重量（g）、W：グラウト後の供試体水中重量（g）、B'：スパイラル鉄筋と充填度試験専用管の空中重量和（g）、W'：スパイラル鉄筋と充填度試験専用管の水中重量和（g）

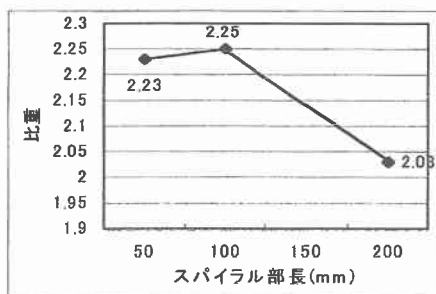
### (3) 試験結果および考察

第一次充填度試験の分散分析結果を表一六に示す。表一六よりスパイラル部長が危険率1%で有意となっている。スパイラル部長の主効果グラフを図一五に示す。第二次充填度試験の試験結果を図一六に示す。図一五と図一六は異なる傾向を示している。図一八は選定したグラウト材のフロー値の影響を打ち消したスパイラル部長と充填度の関係を表したものである。フロー値の影響を打ち消せずにスパイラル部長と充填度の関係を図一七、八、九に示す。図一六と図一七は同じ傾向を示している。図一六、七より、グラウト材の流動性が大きいときはスパイラル部長が短いほど充填度が大となる。図一八、九よりグラウト材の流動性が中、小と変化するに従ってスパイラル部による締め固めが必要である。

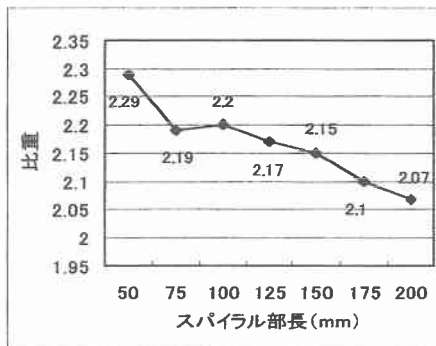
これらの関係は、JIS R 5201試験法におけるフロー値と型詰めめの突き固め数の関係と一致している。スパイラル部長20cmの場合は、いずれのフロー値においてもグラウト空間全体に密に充填される前に回転停止が起き、低充填度となった。写真一八の上側は、スパイラル部長10cmの供試体であり、下側はスパイラル部長20cmの供試体



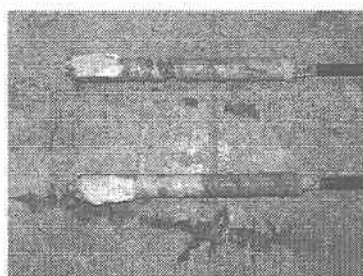
写真一七 充填試験装置



図一五 スパイラル部長の主効果グラフ



図一六 フロー値49sの充填度



写真一八 空隙の有無

である。下側の供試体で中間部に空隙が見られる。

### 6. 引抜強度の検討

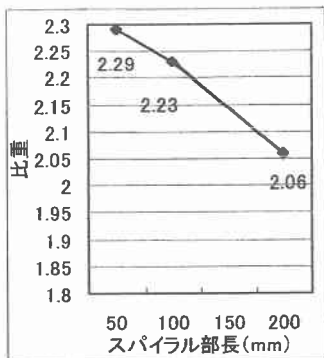


図-7 フロー値49sと充填度

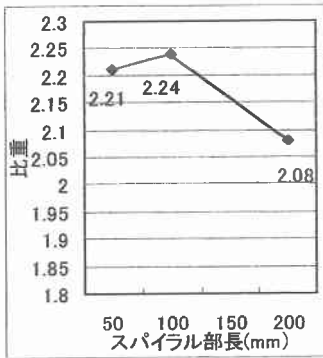


図-8 フロー値88sと充填度

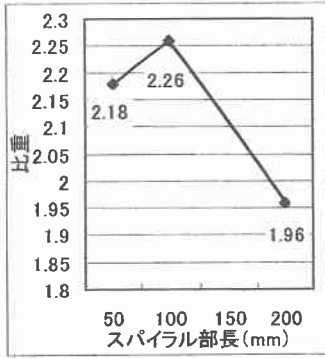


図-9 フロー値202と充填度

表-7 引抜試験における分散分析表

| 要因     | 平方和      | 自由度 | 平均平方和   | F値   |
|--------|----------|-----|---------|------|
| 供試体の種類 | 703.125  | 1   | 703.125 | 0.73 |
| 誤差     | 5771.75  | 6   | 961.958 |      |
| 全体     | 6474.875 | 7   |         |      |

横フシ型異形棒鋼SD-D10と、スパイラル鉄筋をアンカーにした場合の引抜強度について比較検討する。

#### (1) 供試体の製作

グラウト空間  $3.14 \text{ cm}^2 \times 10 \text{ cm}$  のシースグラウトスリーブにD10鉄筋、スパイラル鉄筋をそれぞれ挿入する。グラウト材には表-1の配合番号3を用いる。D-10供試体にはパイブレーションを行いながらグラウトした。スパイラル供試体にはスパイラルグラウトを行った。埋設長は50mmとした。グラウト後一日養生した後、コンクリートで被覆する。そして、養生期間7日となるまで養生する。

#### (2) 実験結果及び考察

引抜試験結果を表-6に示す。F検定の結果を表-7に示す。表-7よりF分布の5%点は、 $F(1, 6; 0.05) = 5.99$ である。したがって統計的に見て、スパイラル供試体、D-10供試体間には有意の差は見られない。

表-6 引抜強度試験結果

|          | 引抜強度(Mpa) |
|----------|-----------|
| スパイラル供試体 | 207.5     |
|          | 329.7     |
|          | 241.8     |
|          | 213       |
| D10供試体   | 284.4     |
|          | 296.8     |
|          | 263.8     |
|          | 250       |

#### 7. 結論

スパイラルグラウトについて次のような結論を得た。

- (1) グラウト材のフロー値及び回転機の回転速度はスパイラルグラウトの輸送能率に大きな影響を与える。
- (2) 充填密度の高いグラウトを行うには、グラウト材のフロー値に対応したスパイラル部長を必要とする。
- (3) D-10供試体の引抜強度においてスパイラルの有無の影響は見られない。

謝辞：本研究に際して、北海道工業大学四年生の三井雅弘、布施好章、澤田圭市、福田貴博の四氏に多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 高野智宏：引抜鉄筋周辺のコンクリート応力に関する研究，北海道工業大学大学院 修士論文，1999年3月
- 2) 林芳尚，中塚ただし，鈴木計夫：グラウト充填式継手に関する研究の動向，コンクリート工学，vol. 34, NO.4, pp 15~23, 1996年4月