

論文

[2044] 鋼管スリーブを用いたグラウト充填式継手における鉄筋の  
付着応力度-すべり特性

林 芳尚\*1 · 清水良平\*2 · 中塚 信\*3 · 鈴木計夫\*4

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物の高品質化や合理化施工にはプレキャスト工法が有効であり、同工法では、プレキャスト部材接合部の鉄筋間隔確保や施工の簡素化、簡便化の観点から太径鉄筋およびグラウト充填式鉄筋継手が採用される事が多い。

本研究は、施工性および経済性に優れると考えられる鉄筋継手工法、すなわち、内面に突起を有する電縫鋼管をスリーブ材とし高強度グラウト材を充填材とする鋼管内充填式鉄筋継手に関するもので、同継手設計のため、基礎データである一方向引張り荷重下における鉄筋とグラウト間の付着応力度-すべり特性について述べたものである。すなわち、鉄筋の局部における付着応力度-すべり ( $\tau-s$ ) 特性が、鉄筋の定着長さ、降伏強度およびグラウト強度によってどのような影響を受けるかを調べ、鉄筋の未降伏および既降伏部分での  $\tau-s$  特性を明らかにすると同時に、簡単な  $\tau-s$  モデルを用いて推定される本継手の破壊モードおよび最大強度について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体および使用材料

本実験で対象とした鉄筋継手は、図-1に示すように内側にチェッカー状に突起を持つスリーブ鋼管を用いたグラウト充填式鉄筋継手である。取り上げた実験要因は、鉄筋の定着長さおよび鉄筋の材質およびグラウトの種類で、各試験体での要因の組み合わせを表-1に示す。

使用した充填グラウト材の調合と性状を表-2に示す。どのグラウト材も流動性に富む、無収縮性のものである。

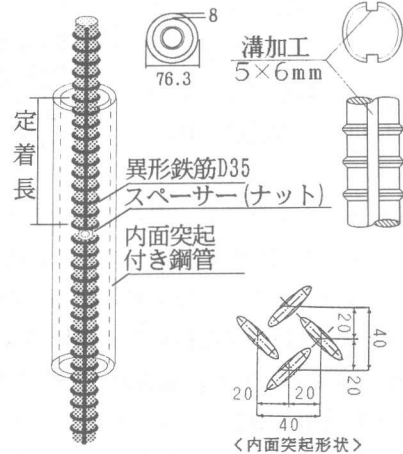


図-1 試験体図

表-1 実験要因一覧

| No    | グラウトの種類 | 定着長さ  | 鉄筋の材質   |
|-------|---------|-------|---------|
| シリズI  | FG600A  | 3 D   | SD400 級 |
|       |         | 4.5 D |         |
|       |         | 6 D   |         |
|       |         | 8 D   |         |
|       |         | 10 D  |         |
| シリズII | FG300   | 6 D   | SD400 級 |
|       |         |       | SD600 級 |
|       |         |       | SD800 級 |
|       | FG600B  |       | SD400 級 |
|       |         |       | SD600 級 |
|       |         |       | SD800 級 |
|       |         |       | SD400 級 |
|       |         |       | SD600 級 |
| FG900 | SD400 級 |       |         |
|       | SD600 級 |       |         |
|       | SD800 級 |       |         |

\*1 鶴岡村組技術研究所 建築研究室主任研究員 (正会員)  
 \*2 大阪大学大学院 工学研究科建築工学専攻  
 \*3 大阪大学講師 工学部建築工学科、工博 (正会員)  
 \*4 大阪大学教授 工学部建築工学科、工博 (正会員)

スリーブ材として用いた鋼管は厚さ8mmのSM490級のプレートで冷間製作された外径が76.3mmの電縫鋼管である。鉄筋はD35の太径鉄筋で、材質がSD390(以下SD400級と略記)、SD600級およびSD800級(SD400級を焼き入れして製作した)の3

種を用いた。鉄筋の定着長さとしては、3D~10D(D=公称鉄筋径)間での5水準を採用した。なお、鉄筋にはひずみゲージ貼付用の溝加工(縦リブ位置に断面が幅5×深さ6mm)を施している。鋼管および鉄筋の力学的性質を表-3に示す。

試験体の製作は、架台にセットされた鉄筋と鋼管のクリアランスにグラウト材を上方より注入することによって行い、所要のグラウト強度が得られるまで、原則として実験室内でそのまま養生した。

## 2.2 載荷および測定方法

載荷方法は、100t万能試験機による一軸単調引張り載荷である。継手部分の変位量は、図-2に示すように、鋼管の上下の端部からそれぞれ約2cm離れた位置で鉄筋に取り付けた測定治具間(全検長)、および上部の測定治具と鋼管中央位置との間(1/2検長)でダイヤルゲージ式変位計を用いて測定した。さらに、上部鉄筋の非載荷端でのすべり量を、同端部に取り付けたインバー線を介して直接測定した。

鉄筋局部の付着応力状態およびすべり性状を知るため、上部鉄筋の溝内および鋼管外面には材軸方向にそって検長2mmの箔ひずみゲージを貼付した。なお、鉄筋におけるゲージの貼付は原則として一節ピッチで行った。また、鉄筋の各局部位置での $\tau$ と $s$ の計算方法を図-3に示す。

表-2 グラウトの調合と性状

| 調 合    | 水結合材比 (%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                    |                      | J <sub>10</sub> ロート流下時間 (秒) | 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数 (x10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|-----------|----------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|        |           | 水                          | 結合材                | その他                  |                             |                             |   |
| FG300  | 70        | 412                        | 589 <sup>2)</sup>  | 953 <sup>5)</sup>    | 9.6                         | 318                         | 1.3   |
| FG600A | 40        | 546 <sup>1)</sup>          | 1365 <sup>3)</sup> | 0.0819 <sup>6)</sup> | 35.0 <sup>7)</sup>          | 666                         | —   |
| FG600B | 34        | 500                        | 1471 <sup>2)</sup> | —                    | 7.7                         | 570                         | 1.4   |
| FG900  | 29        | 458                        | 1578 <sup>4)</sup> | —                    | 9.8                         | 879                         | 2.1   |

- 1): 結合材 x 2% の高流動化剤混入  
 2): 普通セメント + カルシウム・シリケート系膨張材  
 3): 早強セメント  
 4): 普通セメント + シリカ・フラー + カルシウム・シリケート系膨張材  
 5): 石粉  
 6): 7μm 粉  
 7): JA ロート流下時間

表-3 鉄筋および鋼管の性状

| 種 類 |        | 降伏強度 (t/cm <sup>2</sup> ) | 引張り強度 (t/cm <sup>2</sup> ) | 静弾性係数 (x10 <sup>3</sup> t/cm <sup>2</sup> ) |      |
|-----|--------|---------------------------|----------------------------|---|------|
| 鉄 筋 | SD400級 | シ-ズ I                     | 4.69                       | 6.56  | 2.38 |
|     |        | シ-ズ II                    | 4.79                       | 6.76  | 2.07 |
|     | SD600級 | 6.22                      | 7.47                       | 2.01  |      |
|     | SD800級 | 8.03                      | 8.83                       | 2.06  |      |
| 鋼 管 |        | 4.45 <sup>1)</sup>        | 4.95                       | 2.10  |      |

- 1): 材軸方向, 0.2% オフセット値

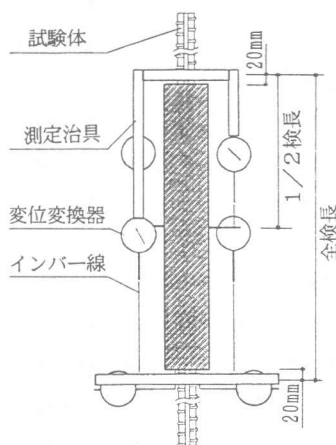


図-2 載荷および測定装置

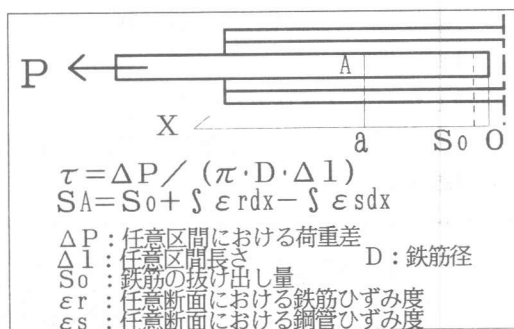


図-3  $\tau$ と $s$ の計算方法

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 継手部分の応力度-ひずみ度関係

図-4に継手部分の応力度-ひずみ度関係を示す。ここでの応力度は試験体に作用する荷重を鉄筋断面積(公称断面積から溝面積を引いた値)で除したものの、ひずみ度は1/2検長区間で測定した変位量を同検長で除したものである。

図-4(a)には、定着長さを変えたシリーズIの結果を示したものである。同図によれば、定着長さの増大によって継手の強度および剛性は増大する。グラウト強度がF<sub>G</sub>600級の本例のような場合、定着長さが6Dの時に継手強度は鉄筋の降伏強度とほぼ等しい強度になり、定着長さが8D以上の場合には、鉄筋の降伏以前および以後のいずれにおいても鉄筋より大きな剛性を示した。

図-4(b)には、鉄筋の定着長さが6Dでグラウト強度および鉄筋強度を変えたシリーズIIの結果を示している。グラウトが低強度のF<sub>G</sub>300の場合、いずれの鉄筋の場合でも継手強度はそれら鉄筋の降伏強度には達せず、付着破壊した。F<sub>G</sub>600の場合、シリーズIの時と同様、SD400級において継手強度は鉄筋の降伏強度を越えたが、その他の鉄筋では越えずに付着破壊した。F<sub>G</sub>900の場合、SD400級およびSD600級の試験体では、鉄筋降伏後も母材より大きな剛性を示しながらそれぞれの鉄筋の破断強度に漸近する性能を示した。SD800級の試験体においてもその強度はほぼ鉄筋降伏強度にまで達したが、その破壊性状はグラウトの破壊による急激なものであった。

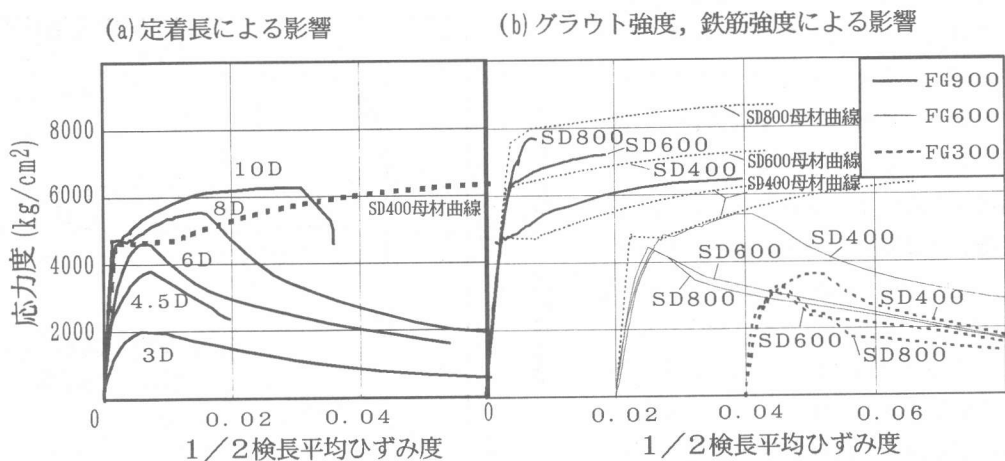


図-4 応力度-ひずみ度関係

#### 3.2 鉄筋局部の付着応力度-すべり( $\tau$ - $s$ )特性

##### (1) 鉄筋が降伏しなかった試験体での $\tau$ - $s$ 特性

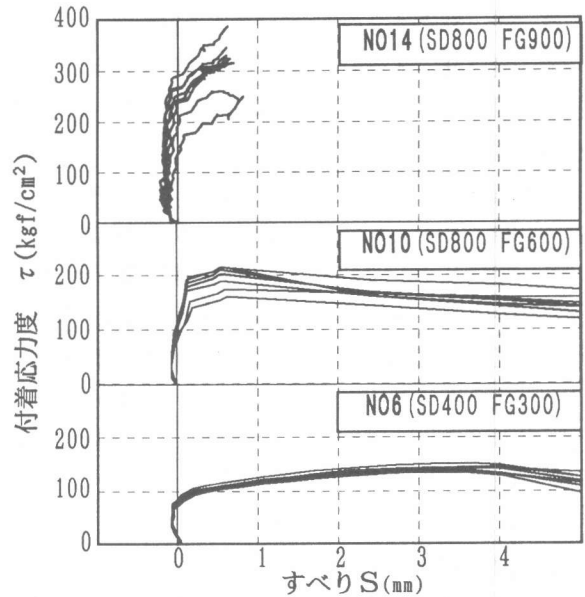
図-5に鉄筋が降伏しなかった場合の鉄筋局部における $\tau$ - $s$ 特性をまとめて示す。同図(a)は同じ試験体の異なる局部での $\tau$ - $s$ 特性を同一グラフ内に併記した図で、各グラウト強度を有する試験体について例示したものである。同図によればF<sub>G</sub>が大なるときに若干のばらつきはあるものの同じ試験体の $\tau$ - $s$ 特性は、鉄筋の局部位置にかかわらずほぼ同一であると推測される。次に、同図(b)は、鋼管スリーブの荷端側から同じ位置における $\tau$ - $s$ 関係を、鉄筋の定着長さ、降伏強度およびグラウト強度が異なる試験体間で比較したものである。同図より、前記の各要因が異なる場合でも、グラウト強度が同じであれば荷端から同じ位置の $\tau$ - $s$ 特性はほぼ同じものになると推測される。すなわち、これらのことから、鉄筋が降伏しない場合の局部の $\tau$ - $s$ 特性は、

鉄筋の定着長、降伏強度および局部の位置にかかわらず、各グラウトに対しほぼ一義的に与えられると考えられる。

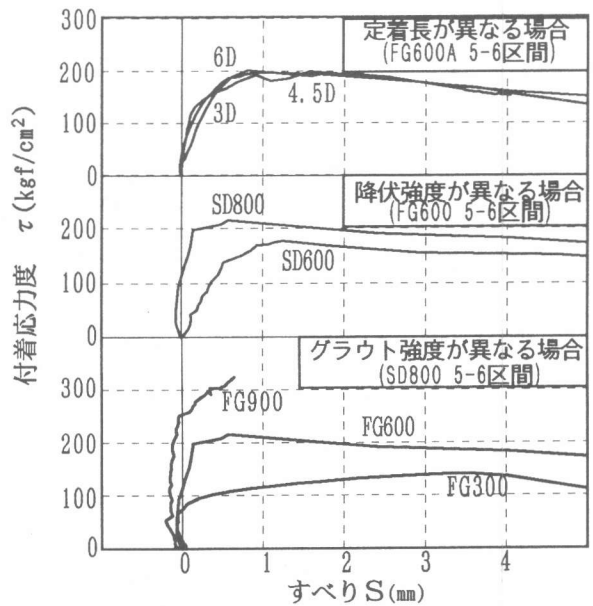
(2) 鉄筋が降伏した試験体での  $\tau$ - $s$  特性

鉄筋の降伏が生じた以降に付着破壊した試験体で得られた、各( $i \sim i+1$ )区間における  $\tau$ - $s$  特性の測定結果を図-6(a)に例示する。同図中の  $\tau$ - $s$  特性上に示した数字は図-6(b)に示すように、載荷端から約2cm離れた母材鉄筋位置を  $i=0$ として番号を付けた、( $i-1$ )、 $i$ 、( $i+1$ )の各位置に貼付したひずみゲージが母材鉄筋の降伏ひずみを越えた時点を示している。同図によれば、( $i+1$ )位置で降伏が生じた( $i \sim i+1$ )区間の  $\tau$ - $s$  特性はパルス的なピークを持つ曲線で、図-5の  $\tau$ - $s$  特性とは大きく違っている。すなわち、いずれの  $i \sim i+1$  区間においても、鉄筋の降伏域が  $i$ 位置を通過する際にピークを示し、 $i+1$ 位置を通過した後はほぼ一定の  $\tau$  値を示す  $\tau$ - $s$  特性となっている。このパルス的なピークは、文献[1]で述べたように載荷ステップが進むことにより、載荷端から順に鉄筋が降伏し、 $i$ と $i+1$ 位置でのひずみの差が降伏前後で大きく変化する事に起因する現象と考えられる。

次に、図-6(c)は同図(a)の  $i=3$ 位置以降の  $\tau$ - $s$  特性とをまとめて示したものである。同図では( $i \sim i+1$ )区間の鉄筋が未降伏および既降伏状態における、同区間での  $\tau$ - $s$  特性に注目するため、同特性のパルス的な部分は細い点線で示している。同図によれば、鉄筋の降伏が生じる区間において降伏が起こるまでの  $\tau$ - $s$  特性と、鉄筋の降伏が起こらない区間での  $\tau$ - $s$  特性はほぼ同様であると思われる。また、同図中には、同じグラウトを有し鉄筋が降伏しない試験体から得た  $\tau$ - $s$  特性の平均的な曲線を太い破線で併記しているが、同曲線は実線で示される未降伏状態での  $\tau$ - $s$  特性のほぼ平均的なところに位置している。一方、鉄筋降伏が生じた区間での降伏後の  $\tau$ - $s$  特性はほぼ一定の  $\tau$  ( $=\tau_{by}$ )を示すものとなっている。



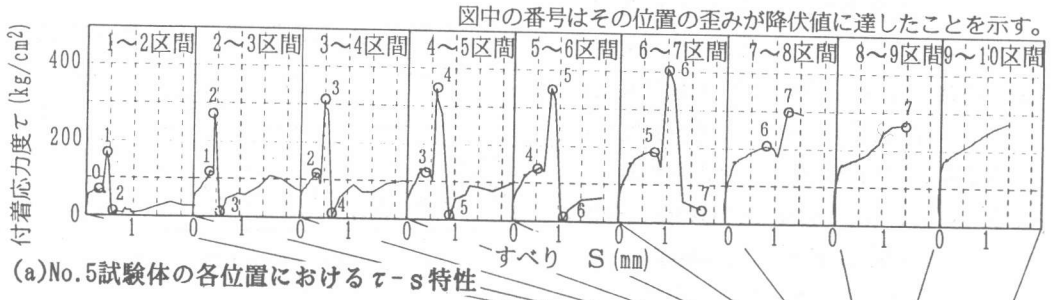
(a) 同じ試験体の異なる位置での比較



(b) 試験体間の比較

図-5 鉄筋が降伏しなかった試験体での  $\tau$ - $s$  特性

図-5 鉄筋が降伏しなかった試験体での  $\tau$ - $s$  特性



### 3.3 最大付着応力度とグラウト強度との関係

図-7(a)は鉄筋が降伏しなかった試験体の各位置および鉄筋降伏が生じた試験体の鉄筋未降伏位置における  $\tau$ - $s$  特性での最大値 ( $\tau_{bm}$ ) を縦軸に、グラウト強度を横軸に取って示したものである。また同図(b)は鉄筋降伏が生じた位置での降伏後の  $\tau$ - $s$  特性における  $\tau$  の最大値 ( $\tau_{by}$ ) をプロットしたものである。これらの図から、 $\tau_{bm}$  は  $F_G$  にほぼ比例して増大すること、 $\tau_{by}$  は  $F_G$  にかかわらずほぼ一定値を示すことがわかる。

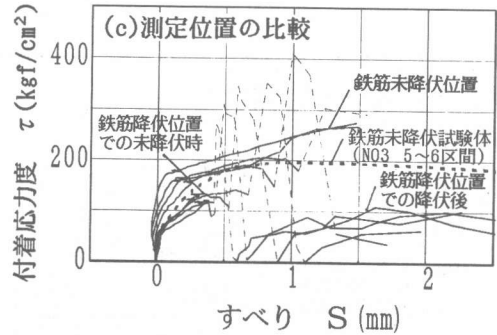
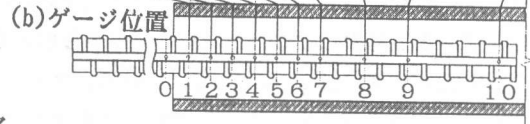
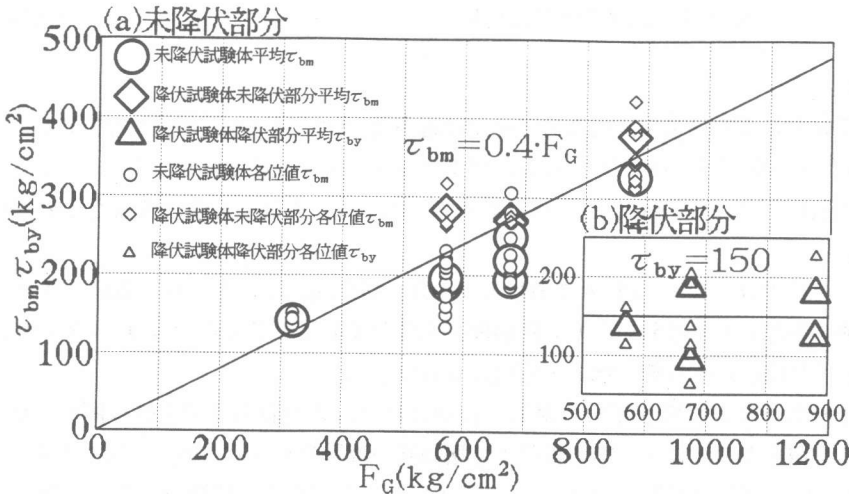


図-6 鉄筋が降伏した試験体での  $\tau$ - $s$  特性



### 4. $\tau$ - $s$ 特性のモデル化と本鉄筋継手の破壊モード推定

本項では、本継手の破壊モードおよび破壊強度を推定するため前項の実験結果を参考にして、次のような  $\tau$ - $s$  特性を仮定した。すなわち、本継手における鉄筋とグラウト間の  $\tau$ - $s$  特性として鉄筋の未降伏および既降伏部分でそれぞれ付着応力度  $\tau_{bm}$ 、 $\tau_{by}$  をもつ剛塑性関係、ならびに載荷端側からの最初の2節間は付着応力を負担しないものと仮定した。仮定した  $\tau$ - $s$  モデルに

従えば、本継手内での材軸方向の付着応力分布は、鉄筋が降伏しない場合および降伏する場合に対し、それぞれ図-8(1)、(2)のようになり、各ケースでの継手強度は、同図中の(1)および(2)式で与えられる。さらに(1)式による強度と鉄筋の降伏強度、(2)式による強度と鉄筋の破断強度との比較から本継手の破壊モードも推定できる。

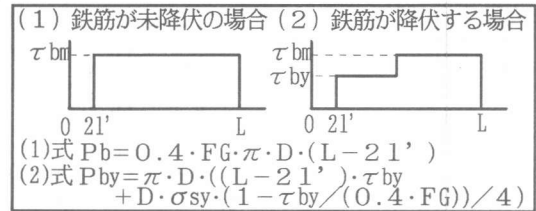


図-8 材軸方向の仮定 $\tau$ 分布

図-9は横軸に定着長さ、縦軸にグラウト強度をとって、各試験体の破壊モードをプロットしたものである。図中には仮定 $\tau$ -sモデルから推定される破壊モード区分も併記しているが実験モードと推定モードは良い一致を示している。また、図-10では継手強度の実験値と推定値を比較しているが、前者は後者によって良好に推定されている。

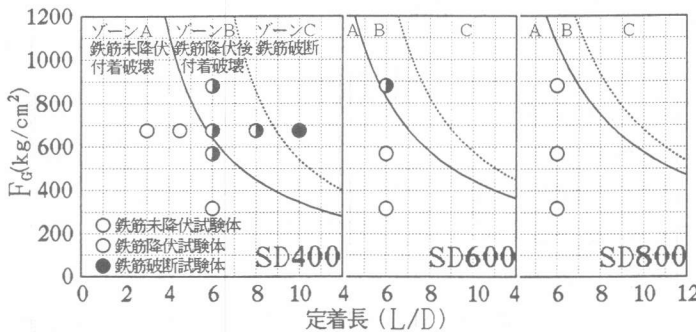


図-9 破壊モードの比較

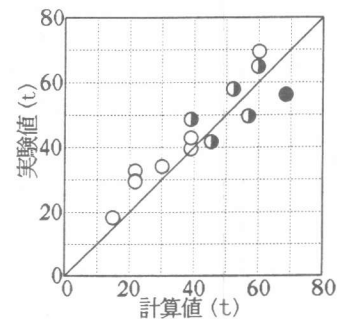


図-10 継手強度の比較

## 5. まとめ

- (1) 本継手における鉄筋の未降伏部分での付着応力度-すべり( $\tau$ -s)特性は鉄筋の定着長さ、降伏強度および材軸方向の位置にかかわらずグラウトによってほぼ同じものであった。また、鉄筋の既降伏部分での $\tau$ -s特性はすべりの増大に対して、ほぼ一定の付着応力度を示すものであった。
- (2) 鉄筋未降伏部分での $\tau$ -s特性における $\tau$ の最大値( $\tau_{bm}$ )、はグラウト強度の増大に対しほぼ比例的に増加した。これに対し、鉄筋既降伏部分での $\tau$ の最大値( $\tau_{by}$ )はグラウト強度にかかわらず150kgf/cm<sup>2</sup>程度のほぼ一定値となった。
- (3) 鉄筋未降伏および既降伏部分に対し $\tau_{bm}$ および $\tau_{by}$ の付着応力度を持つ剛塑性型の $\tau$ -sモデルを適用することによって本継手の破壊強度が破壊モードも含めて推定できた。

なお、鉄筋径、鉄筋と鋼管のクリアランス等の要因は今回取り上げなかったが、今後検討を続けていく予定である。

<謝辞> 本実験に際し、日本鋼管(株)および電気化学工業(株)より種々ご助力を賜った。記して謝意を表する。

## [参考文献]

- 1) 清水良平ほか：内面に突起を有する鋼管を用いたグラウト充填式鉄筋継手の性能に関する研究(その1, 2), 建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp893-896, 1992.8