

[2100] 超高強度セメント系グラウト材を充填したねじ鉄筋カプラー継手の施工性と継手性能

大野 鉄 (住友金属工業 小倉製鉄所)
 正会員 ○小山 清一 (住友金属工業 総合技術研究所)
 宇都宮武也 (住友金属工業 土木建材部)
 正会員 玉木 俊之 (電気化学工業 中央研究所)

1. まえがき

ねじ鉄筋の表面には熱間圧延によって雄ねじふしが形成されているため、これに適合する雌ねじを内面加工したカプラーを用いて、信頼性の高い機械継手を容易に設けることができる。しかし、鉄筋表面の雄ねじの寸法精度は機械加工よりやや劣るため、カプラーとのねじ山間にわずかな間隙が生じる。この継手剛性を母材並みとするためねじ山の間にエポキシ樹脂を充填する工法が開発されているが、耐火・耐熱性の要求される部位への適用範囲は限定される〔1〕。

ここでは、樹脂に代わり耐熱性に優れる無機質の超高強度セメント系グラウト材の適用性を検討したので、その結果につき報告する。

2. 実験概要

2.1. 使用材料

ねじ鉄筋及び接合用カプラーの形状寸法、機械的性質を表1, 2, 図1に示す。充填材に用いた超高強度セメント粉体Cpの組成を表3に示す。粉体中には、フェロシリコン製造時に副生する超微粒子シリカヒューム(平均粒径: 0.1μm)が内割でセメント量の20 vol.%含まれている。また、分散剤として、β-ナフタリンスルホン酸塩ホルムアルデヒドの縮合物を固形分で粉体の2 wt.%添加した。

比較材として市販のS社製早強ポルトランドセメントを用いた。

2.2. 施工性試験

施工性を評価するためには、グラウト材のレオロジー定数を把握しておく必要がある。ここでは、傾斜管試験法を参考に、細管内を流れるビンガム流体の流動問題と仮定して求めた〔2〕。試験方法を図2に示す。すなわち、樹脂充填用に開発された注入機を用い、1.5~7kgf/cm²の圧力にてグラウト材を押出したときの細管内を流れるグラウト材の流量と圧力損失を定常状態に達した時点で測定した。グラウト材の混練には、ホバード型モルタルミキサーを用い、所定の配合で3分間混練した。また、実際の継手を用いてカプラー中央の穴(6φmm)よりグラウト材を圧入し、充填性と注入時間を調査した。実

表1 鉄筋の機械的性質及び形状寸法

| 鉄筋径 | 材質 | 降伏点 (kg/mm ²) | 引張強さ (kg/mm ²) | 伸び (%) | 形状寸法(mm) (記号は図1参照) | | | | |
|-----|------|------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | d _h | d _v | h _s | b _s | P _s |
| D51 | S040 | 42.5 | 58.7 | 24 | 48.4 | 48.4 | 4.5 | 13.0 | 20.0 |

(添字Sは鉄筋を示す)

表2 カプラーの機械的性質及び形状寸法

| 鉄筋径 | 材質 | 降伏点 (kg/mm ²) | 引張強さ (kg/mm ²) | 伸び (%) | 形状寸法(mm) (記号は図1参照) | | | | | |
|-----|------|------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | W | L _c | d _c | h _c | b _c | P _c |
| D51 | S45c | 40.5 | 65.5 | 26.9 | 79.0 | 24.0 | 49.6 | 5.0 | 13.9 | 20.0 |

(添字Cはカプラーを示す)

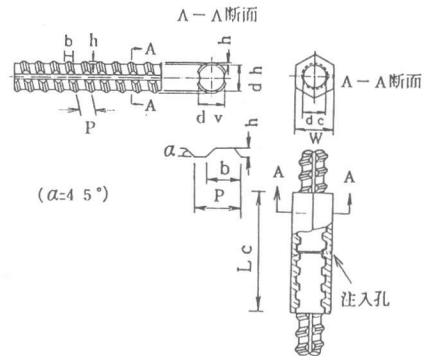


図1 鉄筋及びカプラーの形状

表3 超高強度セメントの組成 (%)

| lg _{40ss} | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | 比表面積 (cm ² /g) | 比重 |
|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|-------------------|------------------|------------------------------|------|
| 5.0 | 34.0 | 3.9 | 0.7 | 54.4 | 0.6 | 2.2 | 0.3 | 0.3 | 9340 | 2.87 |

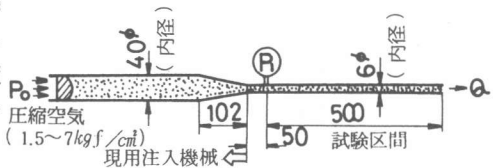


図2 グラウト材注入試験方法

験は一部の継手性能試験を除きいずれも20℃の室温にて行った。

2.3. 継手性能試験

グラウト材充填後所定の期間養生し、「鉄筋継手性能判定基準(1982)」(日本建築センター)に従って継手性能を調べた。同時に、カプラーからの鉄筋抜け出し量をクリップゲージにより計測した。

3. 実験結果と考察

3.1. グラウト材の物性

(1) 圧縮強度とフロー値

水粉体比 W/C_p を13~19%とした場合の圧縮強度とフロー値を図3に示す。図より明らかなように超高強度セメント粉体は非常に少ない水量でも150~300mmのフロー値を示し、圧縮強度は1000kgf/cm²以上となった。これは、超微粒子シリカヒュームがキャリアー効果を発揮し流動性を向上させるとともに、この微粒子がセメント粒子間に最密充填され空隙が減少することによって圧縮強度が増加するものと考えられる。

(2) レオロジー定数

図4に、超高強度セメント粉体及び早強セメントのペーストを圧入した場合の細管内の圧力 P_1 と流量 Q の測定結果を示す。 $W/C_p \geq 17\%$ または $W/C \geq 39\%$ では、 P_1 が1~2kgf/cm²を上回ると Q の増加が大きくなり始める。これは、管壁面でグラウト材がすべりを生じ始めるためと考えられ(2)、そこで、 P_1 が上記値以下の3測定点を用い次式から塑性粘度 η_{pl} 、降伏値 τ_f を求めた。

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot P_1}{8 \cdot l \cdot \eta_{pl}} - \frac{\pi \cdot R^3 \cdot \tau_f}{3 \cdot \eta_{pl}} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \tau_f^4 \cdot l^3}{3 \cdot \eta_{pl} \cdot P_1} \dots \dots (1)$$

ここに、 Q :流量(cm³/s), P_1 :圧力損失(gf/cm²)

R :細管の半径(cm), l :圧力測定区間(cm)

図5は、 $W/C_p = 13 \sim 19\%$ の超高強度セメント粉体及び $W/C = 35 \sim 42\%$ の早強セメントペーストの η_{pl} , τ_f の計算結果を示したもので、これより、超高強度セメント粉体の η_{pl} は同一フロー値の早強セメントに比べ10~20倍高いことが判かる。これは、前者では同一フロー値を得るための水量が減少するためと考えられる。図6は、横軸にセメントの水に対する体積濃度 C_v をとって図5の結果を再整理したもので超高強度セメント粉体及び早強セメントの η_{pl} は C_v とほぼ直線関係にあることが判る。しかし、同一濃度に対する塑性粘度は前者の方が小さい傾向にある。粉末度が大きいにも拘わらず η_{pl} の増加が少ないのは、分散剤などの影響によるものと推定される。

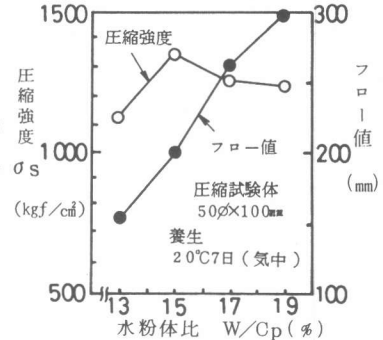


図3 超高強度セメントペーストの圧縮強度とフロー値

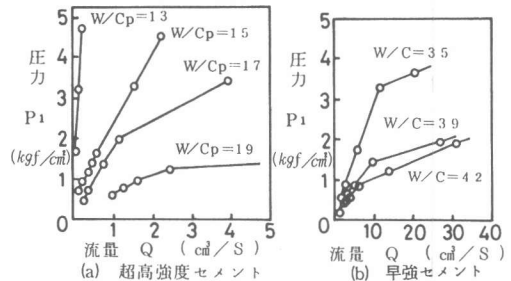


図4 細管内の圧力損失と流量との関係

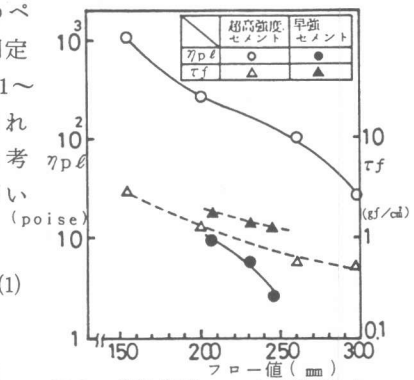


図5 塑性粘度 η_{pl} と降伏値 τ_f

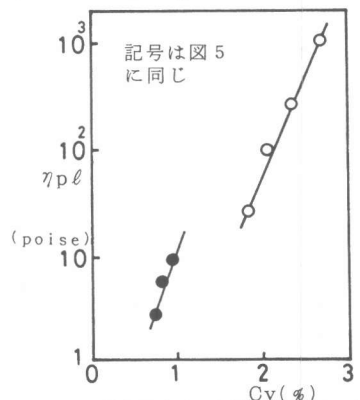


図6 体積濃度 C_v と塑性粘度 η_{pl}

3.2. 施工性

水粉体比 W/C_p を13~19%とした場合のD51継手への注入時間 t と η_{pl} との関係を図7に示す。注入時間 t はグラウト材がカプラー両端より溢出するまでの時間とした。当然の結果であるが、 η_{pl} の増加あるいは注入圧 P_0 の減少に伴って注入時間は増大し、 $\eta_{pl} \geq 500$ poiseで1分を越える($P_0 = 7 \text{ kgf/cm}^2$)。しかし、グラウト材の流れをねじ山間隙に沿った管内流動と仮定し、(1)式より t を求めると、 $\eta_{pl} = 500$ poiseで $t \approx 6$ 分($R = 2 \text{ mm}$ と仮定)となる。

そこで、継手内部のグラウト材の流れをアクリル製透明カプラーを用いて観察した。結果は図8のようで、管路の流れとはかなり異なり、鉄筋縦溝部から各ねじ山へ流れる性状を示した。また、早強セメントなど塑性粘度が小さい場合には、鉄筋縦溝部からの流出が早く未充填部を生じる危険性のあることも判明した。後述のように $\eta_{pl} \approx 30$ poise($W/C_p = 19\%$, 20°C に相当)になるとグラウト材のだれが大となり継手剛性の低下を招くことから、施工性も含めるとグラウト材の適切な塑性粘度は $50 \leq \eta_{pl} \leq 500$ poiseと判断される。

3.3. 継手性能

(1) η_{pl} の影響

水粉体比 W/C_p が13~19%のグラウト材を充填した場合の継手剛性並びに弾塑性域正負繰返し载荷後のすべり量を図9に示す。試験は、 20°C の気中に7日間放置後実施したが、グラウト材の圧縮強度は、図3に示したとおり $1110 \sim 1350 \text{ kgf/cm}^2$ と大差ない。図より明らかなように、 W/C_p が19%になると継手剛性の低下あるいは塑性域正負繰返し载荷後のすべり量の増大が認められた。このことから、グラウト材の塑性粘度が減少すると充填後わずかなだれが生じ継手剛性に影響を及ぼすことが判った。

(2) 圧縮強度の影響

$W/C_p = 15\%$ と一定とし、養生温度、材令を変化させた場合の継手剛性をグラウト材の圧縮強度との関係で図10に示す。グラウト材の圧縮強度 σ_c の増加に伴って継手剛性は高くなり、 $\sigma_c = 700 \sim 1000 \text{ kgf/cm}^2$ ($20^\circ\text{C} \times 1$ 日)で母材と同等となる。同一強度でも早強セメントのように η_{pl} が小さくグラウト材のだれやねじ部に未充填部が生じると、継手剛性の低下を招く。

(3) 充填効果

継手剛性はグラウト材がねじ山の間隙に均質に充

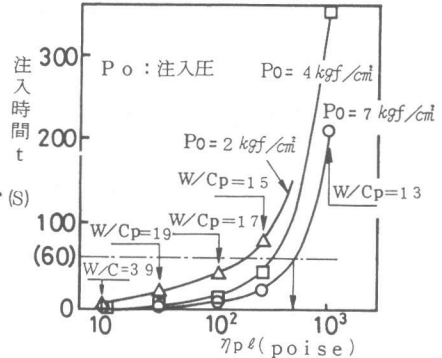
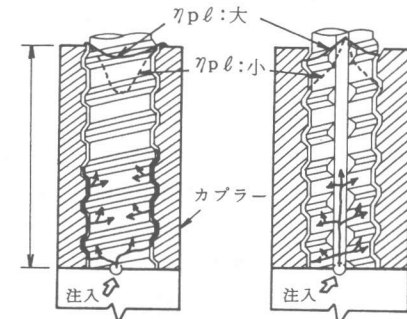


図7 グラウト材の注入時間(D51継手)



(a)鉄筋縦溝が側面 (b)鉄筋縦溝が正面
図8 継手内部のグラウト材の流れ(D51継手)

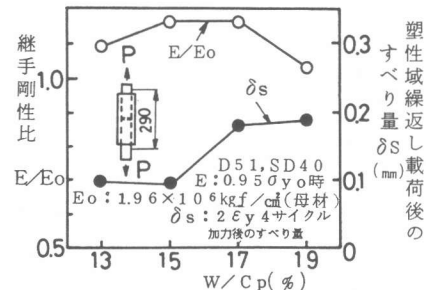


図9 継手剛性と W/C_p との関係

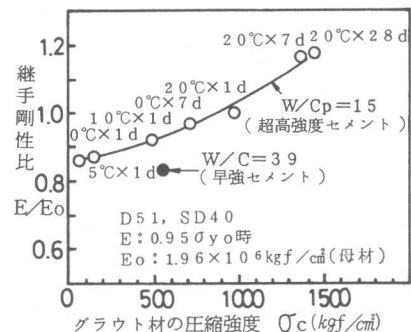


図10 グラウト材の圧縮強度と継手剛性との関係

填されていれば、その圧縮強度に概むね比例する。
 図11, 12は継手に一方向の引張力を作用させた場合の鉄筋のカプラーからの抜け出し量 δ_p とそれ以外の継手部の変形 δ_o (検長間の変形 δ_l と δ_p の差) の変化を示したもので、これよりグラウト材の充填によって鉄筋抜け出し量 δ_p は大幅に減少することが判かる。一方、 δ_p 以外の変形 δ_o は、グラウト材の有無、圧縮強度の大小に関係なくほぼ同一挙動を示す。

そこで、グラウト材の充填効果を明らかにするため、鉄筋抜け出し量 δ_p の支配因子を考える。すなわち、 δ_p はねじ山の弾性変形等によるねじ自体の抜け出し δ_s とねじ山間に充填されたグラウト材の圧縮変形 δ_g の和と考えられる。ねじの理論から、 δ_s は次式で与えられる(3)。

$$\delta_s = K \cdot W \cdot \sin \alpha / E_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、K:ねじの形状により定まる (K=59.5)。

E_s:鋼の弾性係数

W:ねじ山単位幅当たりの圧縮力

定数Kは充填材のない継手の鉄筋抜け出し量から実験的に求め得るが、低荷重域ではねじ山間での一様な荷重伝達が期待できないため、図11の勾配 β をもとに定めた。他方、グラウト材に生じる圧縮応力は、すべてのねじ山で均等に荷重が作用すると仮定すれば(3)式で、グラウト材の変形 δ_g は(4)式で求まる(1)。

$$\sigma_g = A \cdot \sigma_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_g = \sigma_g \cdot t_g / (E_g \cdot \cos \alpha) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、A:鉄筋・カプラーの形状寸法から求まる (D 51 の場合 A = 0.344)

σ_s : 鉄筋応力

t_g, E_g : グラウト材の厚さ及び弾性係数

以上の計算により得られた結果と実験値を対比して、図13に示す。グラウト材のE_gは、圧縮強度の50%における割線剛性として求めた値である。これより、鉄筋抜け出し量 δ_p はグラウト材のE_gに反比例し、実験値はグラウト材の厚さ t_g を1~2mmと仮定した計算値の範囲内にはほぼ含まれる。この結果から、継手剛性を母材以上とするには、グラウト材のE_gをE_g ≥ 1 × 10⁵kgf/cm² (σ_g ≥ 700kgf/cm²) とすれば良いことが判る。

4. まとめ

超微粒子シリカヒュームを内割で20vol.%置換した超高強度セメント系グラウト材のねじ鉄筋カプラー継手充填材への適用性を検討し、以下の知見を得た。

- (1) 超高強度セメント系グラウト材の塑性粘度 η_{pl} は同一フロー値の早強セメントペーストの10~20倍と高い。
- (2) カプラー継手用グラウト材の η_{pl} は施工性から $50 \leq \eta_{pl} \leq 500$ poiseが望ましい。また、母材並みの継手剛性を満たすグラウト材の弾性係数E_gはE_g ≥ 1 × 10⁵ kgf/cm² (σ_g ≥ 700 kgf/cm²) である。

参考文献 (1) 山崎 章, 白川 潔, 小山清一:ねじ鉄筋樹脂充填継手の力学的特性,第6回コンクリート工学年講義文集 PP.385-389,1984
 (2) 村田二郎, 鈴木一雄:グラウトの管内流動に関する研究,土木学会論文集,第354号V-2, PP.99-108,1985
 (3) 山本 晃:ねじ締結の理論と計算,養賢堂,昭45年

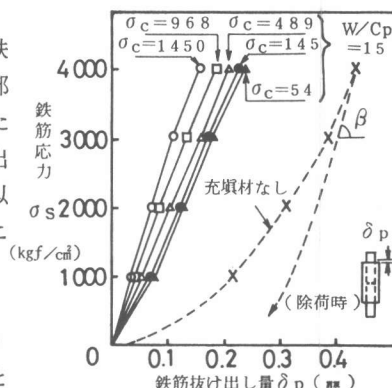


図11 カプラーからの鉄筋抜け出し量 δ_p

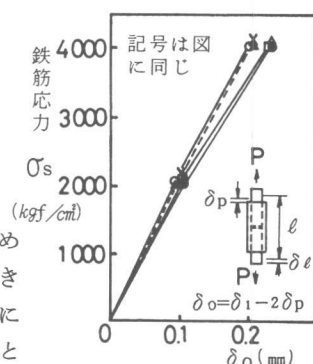


図12 δ_p 以外の継手部変形

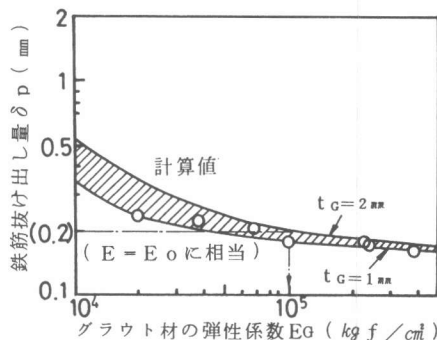


図13 グラウト材の弾性係数と δ_p との関係