報告　鉄筋の機械継手に用いる無機グラウト材に関する検討

田中博一[*1]・栗田守朗[*2]・高橋直伸[*3]・阿瀬正明[*4]

要旨:セメントの種類および膨張材量を要因とした無機グラウト材を注入した鉄筋の機械継手（ねじ節鉄筋継手）について，一方向引張り試験および弾・塑性域正負繰返し試験を実施した。その結果，継手性能に及ぼすセメントの種類の影響は小さいこと，低熱系ポルトランドセメントに膨張材を混入した場合，ケミカルプレストレス効果により，継手の剛性低下率およびすべり量を改善することが可能であり，ロックナットを使用しなくても，A級継手を満足することがわかった。

キーワード：機械継手，無機グラウト，膨張材，低熱系セメント，ケミカルプレストレス

1．はじめに

近年，建設工事において，鉄筋コンクリート構造物の大型化あるいはプレキャスト化が進められている。構造物が大型化し部材が長くなる場合，鉄筋の長さが鉄筋の製造，運搬，施工条件などに制約されるため，現場で鉄筋を継ぐ必要がある。また，プレキャスト工法においても，プレキャスト部材同士を接合するために，現場で鉄筋を継ぐ必要がある。

現場で鉄筋を継ぐ方法としては，重ね継手，ガス圧接継手，機械継手などが適用されている。従来は，重ね継手あるいはガス圧接継手が主流であったが，鉄筋の高強度化・太径化に伴い，施工上の制約が少ない機械継手の適用が増加している。

機械継手の1つに，**図-1**に示すように2本のねじ節鉄筋をカプラーによって結合するねじ節鉄筋継手がある。ねじ節鉄筋継手は，鉄筋のねじ節とカプラーのねじとが勘合することにより必要な強度が得られるものであり，有機グラウト継手と無機グラウト継手がある。有機グラウト継手は，エポキシ樹脂などの有機系のグラウトを注入するものであり，ロックナットを用いないでも継手の剛性を確保できる利点はあるが，樹脂が熱に弱いため耐火性が必要な部材には適用できない。一方，無機グラウト継手は，無機系のグラウトを注入するものであり，適用範囲を限定しない利点があるが，剛性を確保するためにロックナットが必要となる。ロックナットを用いる場合，施工手間がかかる，一度締め付けたロックナットが衝撃等によりゆるむ，コストアップになるなどの問題点が指摘されている。

そこで，本報告では，無機グラウト材を改良することにより，ねじ節鉄筋継手においてロックナットを省略できる可能性について検討した。以下に，セメントの種類および膨張材量を要因とした無機グラウト材を注入したねじ節鉄筋継手について，一方向引張り試験および弾・塑性域正負繰返し試験を実施した結果について述べる。

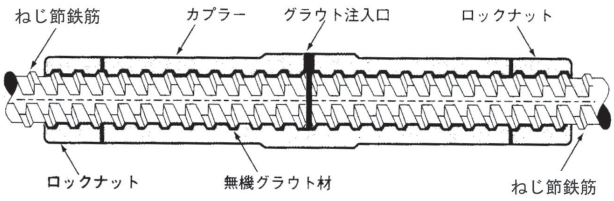

図-1　ねじ節鉄筋継手

*1 清水建設（株）　技術研究所　土木研究開発部　工修　（正会員）
*2 清水建設（株）　技術研究所　土木研究開発部　主任研究員　工修　（正会員）
*3 （株）伊藤製鐵所　技術サービス部　部長
*4 日本スプライススリーブ（株）　取締役　エンジニアリング部　部長

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

グラウト材のセメントは，普通ポルトランドセメント（以下NCとする），早強ポルトランドセメント（以下HCとする）および低熱系ポルトランドセメントをベースにシリカフュームを10～15%程度混入したセメント（以下LCとする）の3種類を使用した。その他にCSA系の膨張材を使用し，流動性を調整する場合にはポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用した。

グラウト材の水結合材比は，圧縮強度を高めるためにできるだけ小さくすることを目的に予備実験を実施し，製造性および施工性を考慮してNCおよびHCでは23%，LCでは16%とした。膨張材量の影響を検討するため，膨張材混入率をNCではセメント量に対し内割で3%，6%，10%および15%とし，LCではセメント量に対し内割で3%，5%および10%とした。なお，NCについては膨張コンクリートにおいて収縮補償の単位膨張材量が30kg/m³である従来型の膨張材を使用し，LCについては最近開発された低添加型の膨張材を使用した。低添加型では，従来型の2/3の量で同等な膨張率が得られる[1)]。

鉄筋は，SD490，D32を用いた。カプラーは鋳物製とし，全長210mmのものを用いた。

2.2 試験体の作製方法

グラウト材の練混ぜには，ハンドミキサ（1,000rpm）を使用し，材料投入後，均一になるまで3分間練り混ぜた。練り混ぜたグラウト材を**写真-1**に示すように手動式注入機により水平に配置したカプラー内に注入した後，継手試験を行うまで20°Cの室内で養生した。なお，今回製作した継手には，いずれもロックナットを使用していない。

2.3 測定項目

測定項目を**表-1**に示す。グラウト材の充てん状況を確認するために，カプラー内にグラウト材を注入して硬化させた後，継手を**図-2**に示すように切断し，A-A断面およびB-B断面におけるカプラー凹部の合計数に対する空隙が認められた凹部の割合をグラウト充てん率として測定した。また，カプラー内に注入されたグラウト材は，ほぼ水分の出入りがない状態であることを考慮し，圧縮強度用供試体は材齢1日において脱型した後，20°Cの室内で封かん養生し，一軸拘束膨張試験用供試体は，材齢1日で脱型した後，全面をアルミ粘着テープでシールして20°Cの室内に静置した。

継手試験は，**写真-2**に示すように，2500kN

写真-1　グラウト材の注入状況

表-1　測定項目

項目	試験方法	備考
グラウト充てん率	カプラーの切断面における凹部の合計数に対する空隙が認められた凹部の割合	LCの膨張材混入率0，5，10%について測定
圧縮強度	JIS R 5201-1997	20°C封かん養生 試験材齢：7日，56日
一軸拘束膨張	JIS R 6202-1997	20°C封かん養生（アルミ粘着テープでシール）
一方向引張試験および弾・塑性域正負繰返し試験	建設省住指発第31号[別添の1の1]鉄筋継手性能判定基準	20°C室内で養生 試験材齢：56日

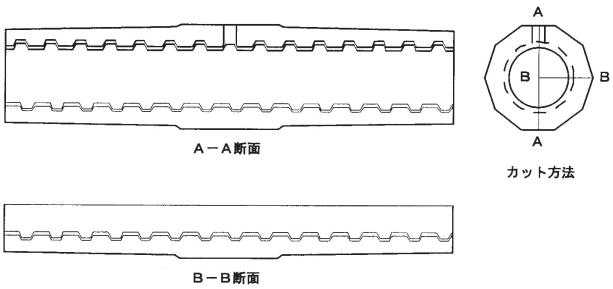

図-2　継手切断方法

疲労試験機を用いて，2001年版建築物の構造関係技術基準解説書[2)]の鉄筋継手性能判定基準に準拠して一方向引張り試験および弾・塑性域正負繰返し試験を行った。加力方法を**表 - 2**に示す。継手性能に関する測定項目は，強度，剛性，すべり量とした。剛性およびすべり量については，継手試験体の特定検長間（カプラー両端部より外側に20㎜）に配置した一対の変位計により計測されたσ - ε曲線により求めた。なお，同一条件において3本の継手試験を行い，平均値を求めた。

写真 - 2　継手試験状況

表 - 2　継手試験の加力方法

一方向引張り試験	0→σ_{y0}→破断
弾性域正負繰返し試験	0→（0.95σ_{y0}⇔−0.5σ_{y0}）→（20回繰返し）
塑性域正負繰返し試験（A級継手）	0→（2ε_y⇔−0.5σ_{y0}）→（4回繰返し）
ここで，σy0：母材の規格降伏点 εy：一方向引張り試験による接合鉄筋の降伏応力度，又は耐力を割線剛性で除した値	

3．結果および考察

3.1 グラウト材の充てん率

グラウト材の充てん率の測定結果を**表 - 3**に示す。膨張材を5%および10%とした場合は，若干空隙が認められる箇所もあったが，全体的には良好な充てん状況であることが確認された。なお，グラウト材の流動性および施工性については，セメントの種類や膨張材量によらず，ほぼ同等であった。

表 - 3　グラウト材の充てん率

セメントの種類	膨張材混入率(%)	合計凹部	空隙が認められた凹部	充てん率(%)
LC	0	39	0	100
	5	39	1	97
	10	40	2	95

3.2 圧縮強度

材齢7日および56日における圧縮強度を**表 - 4**に示す。膨張材を混入しない場合においては，材齢7日では，HC＞NC＞LCの順で圧縮強度が大きくなったが，材齢56日ではセメントの種類によらず，110～120N/mm^{2}程度のほぼ同等の圧縮強度となった。

一方，膨張材を混入した場合，NCおよびLCともに，膨張材混入率が大きくなるほど圧縮強度は低下した。これは，本実験では供試体を材齢1日で脱型しており，無拘束状態で膨張したためと考えられる。既往の報告[3)]によると，無拘束状態で養生した場合，膨張コンクリートの圧縮強度は膨張率が大きくなるにつれ低下するが，鋼製型枠による拘束下では，無拘束膨張率が10000（×10^{-6}）程度であっても強度低下は20%程度であると示されている。したがって，カプラー内に注入されたグラウト材は完全拘束に近いことを考慮すると，カプラー内のグラウト材の圧縮

表 - 4　圧縮強度および一軸拘束膨張ひずみ

セメントの種類	膨張材混入率(%)	圧縮強度(N/mm^2)		一軸拘束膨張ひずみ（×10^{-6}）	
		7日	56日	7日	28日
NC	0	92.1	120	−1111	−1370
HC	0	101	112	—	—
LC	0	85.6	120	−226	−396
NC	3	—	106	−748	−1007
	6	—	98.5	−637	−763
	10	—	49.1	152	−70
	15	—	37.8	426	419
LC	3	—	—	248	1937
	5	—	17.2	1344	7426
	10	—	5.3	測定不可	測定不可
測定不可：膨張により拘束器具が破壊した					

強度の低下は小さいものと推測される。拘束を受けるカプラー内部のグラウト材の圧縮強度については今後の課題と考えている。

3.3 一軸拘束膨張率

封かん養生における材齢7日および28日での一軸拘束膨張率の結果を**表-4**に示す。膨張材を用いない場合，NCとおよびLCともに収縮しており，NCでは収縮率が1000(×10^{-6})以上と非常に大きい。これは，水結合材比が小さく，さらにペーストであるため自己収縮が大きくなったためと考えられる。NCと比較すると，LCの収縮率はNCの1/5程度に小さくなった。これは，C_2Sが多く含まれる低熱セメントは自己収縮が小さくなる傾向が強いとする既往の報告[4)]に一致する。

一方，膨張材を用いた場合，セメントの種類により膨張性状が大きく異なった。NCでは膨張材混入率6%でも膨張せずに600(×10^{-6})以上収縮しているが，LCでは膨張材混入率3%の材齢28日での膨張率は2000(×10^{-6})程度になった。さらに，LCの膨張材混入率10%では，試験体を拘束している拘束器具のうち，拘束端版と拘束棒を固定するねじ部が膨張により破壊し，膨張率の測定は材齢4日までしか行えなった。なお，材齢4日での膨張率は9748(×10^{-6})であった。

既往の報告[5)]では，膨張率は膨張発現速度と硬化体の強度発現速度の兼ね合いによるもので，強度発現が遅い場合には膨張が生じやすいため，普通ポルトランドセメントより低熱ポルトランドセメントの方が膨張しやすい，さらに低水セメント比においてシリカフュームと低添加型の膨張材を用いた場合，膨張しやすいと報告されている。本実験で用いたLCは，低熱系のセメントをベースとしていること，さらに低水結合材比としてシリカフュームと低添加型の膨張材を使用していることから，NCと比較して著しく大きく膨張したと考えられる。

3.4 継手性能に及ぼすセメントの種類の影響

(1) 継手強度

セメントの種類と継手強度の関係を**図-3**に示す。セメントの種類の影響が継手強度に及ぼす影響は小さく，セメントの種類によらず，ほぼ同等の継手強度を示し，継手性能判定基準においてA級継手を満足した。

(2) 剛性低下率

セメントの種類と載荷20サイクル時の剛性を1サイクル時の剛性で除した剛性低下率の関係を**図-4**に示す。継手の剛性低下率は，NC>LC>HC

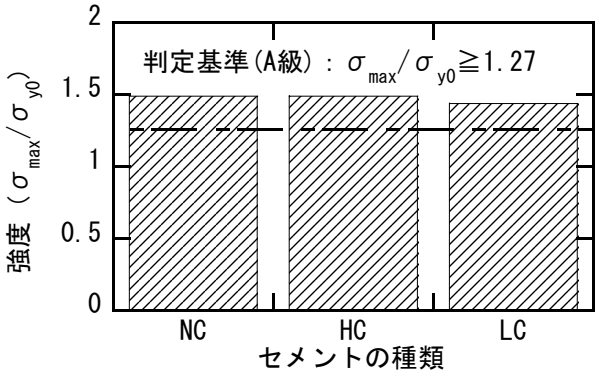

図-3　セメントの種類と継手強度の関係（膨張材混入率0%）

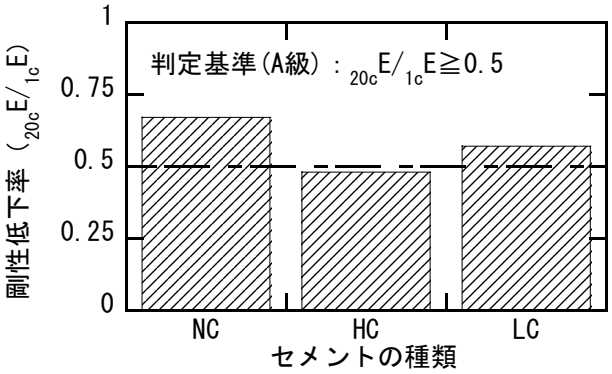

図-4　セメントの種類と剛性低下率の関係（膨張材混入率0%）

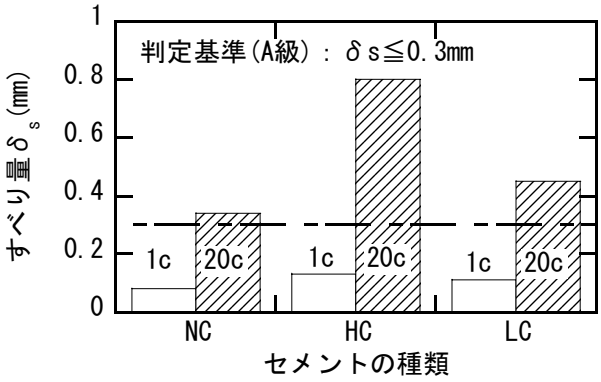

図-5　セメントの種類とすべり量の関係（膨張材混入率0%）

の順で大きくなり，NCおよびLCについてはA級継手を満足したが，HCについてはA級継手を満足しなかった。

(3) すべり量

セメントの種類と載荷1サイクルおよび20サイクル時のすべり量の関係を**図-5**に示す。1サイクル時では，いずれのセメントについてもすべり量が0.3mm以下となっており，A級継手を満足した。しかし，20サイクル時では，HC>LC>NCの順ですべり量は小さくなったものの，すべてのケースにおいてA級継手を満足しなかった。

以上より，継手強度，剛性低下率，すべり量を総合的に評価すると，グラウトの圧縮強度を110～120N/mm^{2}程度に高めた場合でも，すべり量を改善することが困難であり，ロックナットなしではA級継手を満足することはできないことが明らかとなった。

3.5 継手性能に及ぼす膨張材の影響

(1) 継手強度

膨張材混入率と継手強度の関係を**図-6**に示す。NCおよびLCいずれにおいても，膨張材の混入率が継手強度に及ぼす影響は小さく，膨張材混入率によらず，ほぼ同等の継手強度を示し，A級継手を満足した。

(2) 剛性低下率

膨張材混入率と載荷20サイクル時の剛性を1サイクル時の剛性で除した剛性低下率の関係を**図-7**に示す。すべてのケースにおいてA級継手を満足した。しかし，NCについては，膨張材混入率によらず，剛性低下率はほぼ同程度となっており，膨張材を混入することによる剛性低下率の改善は認められなかった。一方，LCについては，膨張材を混入することによって，膨張材を混入しない場合より剛性低下率が1.7倍程度になること，膨張材混入率が3%から10%の範囲では，剛性低下率はほぼ同等であることが明らかになった。

(3) すべり量

膨張材混入率と載荷1サイクルおよび20サイクル時のすべり量の関係を**図-8**および**図-9**に

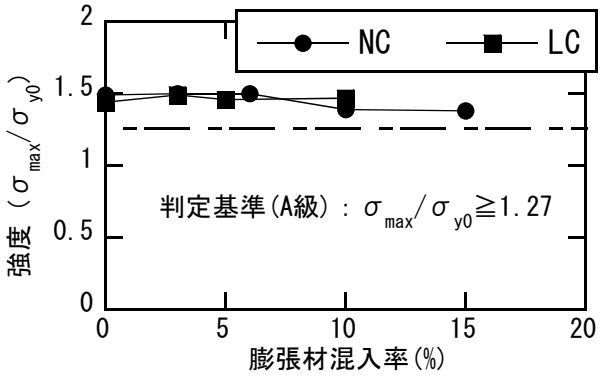

図-6　膨張材混入率と継手強度の関係

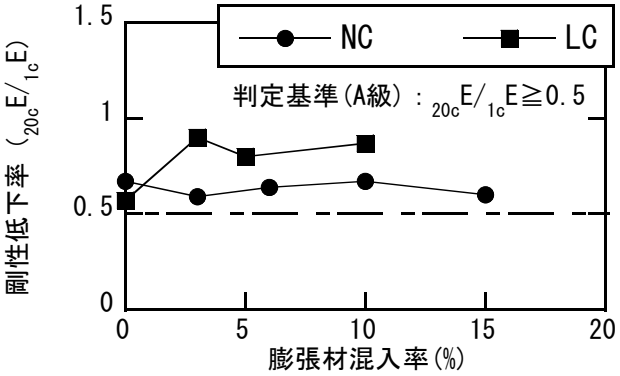

図-7　膨張材混入率と剛性低下率の関係

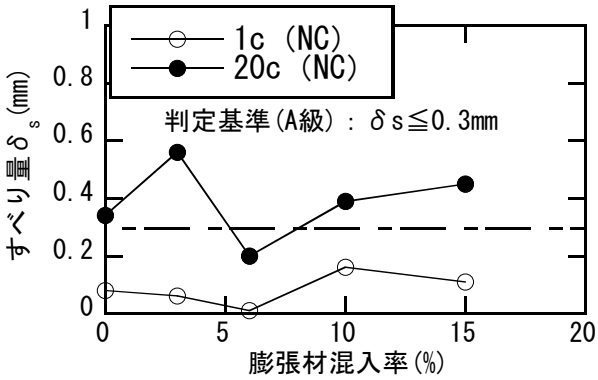

図-8　膨張材混入率とすべり量の関係（普通セメント）

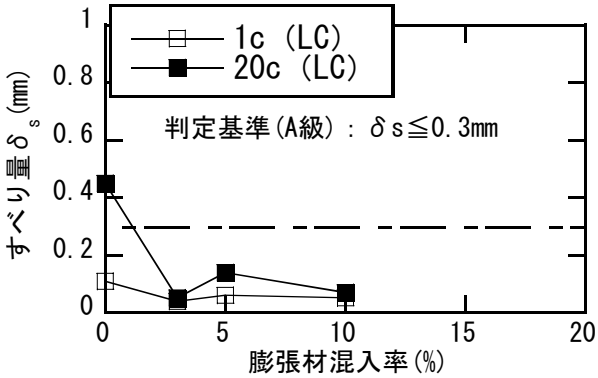

図-9　膨張材混入率とすべり量の関係（低熱セメント）

示す。セメントの種類に関らず，すべてのケースにおいて1サイクル時のすべり量は0.3㎜以下となっており，A級継手を満足した。一方，20サイクル時のすべり量については，NCを用いた場合，膨張材を混入しても6%の場合を除き，A級継手を満足しなかった。しかし，LCを用いた場合には，膨張材を混入することにより，膨張材を混入しない場合より20サイクル時のすべり量が1/2程度になること，膨張材混入率が3%から10%の範囲では，20サイクル時のすべり量はほぼ同等であることが明らかになった。これは，**3.3**で述べたように，NCと比較しLCの膨張率が大きいことに加え，ねじ節鉄筋継手ではカプラー内のグラウト材の拘束条件は完全拘束に近い状態であるため，膨張力が拘束されケミカルプレストレスが導入されることにより，LCに膨張材を混入した場合に継手の剛性低下率およびすべり量が改善されたと考えられる。カプラー内での膨張性状については，長期的な安定性を含め，今後さらに検討する必要がある。

以上より，LCに膨張材を3%程度以上混入することによって，ロックナットなしで継手性能判定基準のA級継手を満足できることが明らかになった。

4．まとめ

本報告で得られた知見を以下に示す。

1)セメントの種類および膨張材量が継手強度に及ぼす影響は小さい。

2) グラウト材の圧縮強度を110～120N/mm^{2}程度まで高めても，ロックナットなしではすべり量が大きくなり継手性能判定基準におけるA級継手を満足できない。

3) 膨張材を混入した場合，普通ポルトランドセメントより低熱系ポルトランドセメントの方が膨張しやすい。

4) 低熱系ポルトランドセメントに膨張材を3%程度以上混入すると，継手の剛性低下率およびすべり量を改善でき，ねじ節鉄筋継手においてロックナットなしにA級継手を満足できる。

なお，今後の課題としては，カプラー内におけるグラウト材の膨張特性，膨張材を用いた場合の長期的な安定性などを検討することが挙げられる。

謝辞：本実験を実施するにあたり，電気化学工業（株）より様々な御協力を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

1) 日本コンクリート工学協会：膨張コンクリートによる構造物の高機能化 / 高耐久化に関するシンポジウム委員会報告書，pp.1-3，2003.9

2) 国土交通省住宅局建築指導課ほか編：2001年版建築物の構造関係技術基準解説書，工学図書，2001.3

3)土木学会：膨張コンクリート設計施工指針，コンクリートライブラリー75，pp.99-101，1993

4)日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，pp.105-107，2002.9

5)日本コンクリート工学協会：膨張コンクリートによる構造物の高機能化 / 高耐久化に関するシンポジウム委員会報告書，pp.25-48，2003.9