

論文

[2135] 混合ストランドを用いたプレキャスト圧着接合部骨組の履歴性状

西山 峰広*1・丹羽 幸彦*2・渡辺 史夫*3・六車 照*4

1. はじめに

緊張材のみを通し配筋としたプレキャスト圧着接合部により組み立てられた梁柱骨組では、通常の鉄筋コンクリート造骨組と比較して原点指向性の強い、履歴面積の小さな荷重-変位性状を示す。このような履歴性状では地震に対する応答が、一般の鉄筋コンクリート構造と比較して大きくなると予想される。梁端部クリティカル断面に、柱梁交叉部に定着された普通鉄筋を加えればこの性状は改善されるが、プレキャスト構造としての施工性が損なわれてしまう。そこで、本研究では、降伏強度400MPa級の普通強度素線4本と1700MPa級の高強度素線3本を用いて作製した7本よりストランドを用いて、エネルギー吸収は普通強度素線に、圧着力は高強度素線にそれぞれ分担させることにより、プレキャスト梁柱圧着接合部骨組の履歴性状の改善を試みた。

2. 混合ストランド

直径4.20mmの普通強度素線4本（但し、芯線は4.05mm）と直径4.10mmの高強度素線3本をよりあわせて作製した12.4mm混合ストランドを図1に示す。図2には、混合ストランドと、これと降伏張力のほぼ等しいSWPR7A9.3mm普通ストランドの引張力-平均歪関係を示す。平均歪とは、検長522～613mmで測定した歪である。本実験では、混合ストランドを用いた試験体と普通ストランドを用いた試験体の梁の曲げ強度を同じに設定するために、降伏張力のほぼ等しいこれらのストランドを使用した。混合ストランドの引張力-歪関係には、普通強度素線と高強度素線の負担

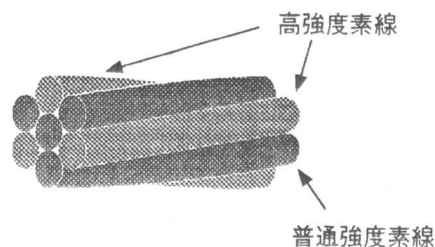
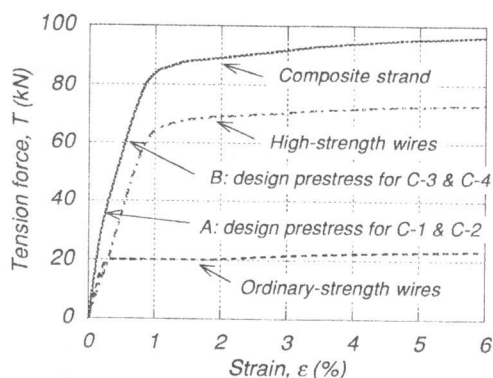
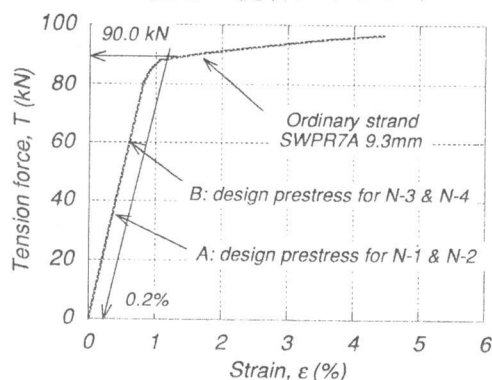


図1 混合ストランド



(a) 混合ストランド



(b) 普通ストランド

図2 混合ストランド及び普通ストランドの引張力-平均歪関係

*1 京都大学工学部助手 工学部建築学第二学科、工博（正会員）

*2 住友建設

*3 京都大学工学部教授 工学部建築学第二学科、工博（正会員）

*4 京都大学名誉教授 工博（正会員）

分をそれぞれ示してある。混合ストランドでは、最初に普通強度素線が降伏することにより剛性が低下し、さらに高強度素線が降伏に至ることにより、ストランドとしての降伏を示すようになる。それぞれの素線の応力-歪関係を図3に示す。降伏強度は、普通強度素線で376MPa、高強度素線では1727MPa（0.2%オフセット降伏応力）となっている。

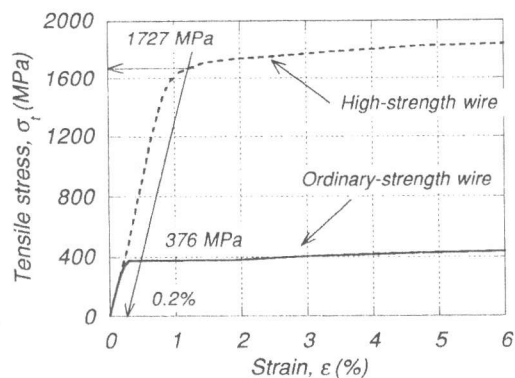


図3 素線の応力-歪関係

3. 実験概要

試験体を図4に示す。試験体は片持ち梁形式となっており、梁と柱スタブを別々に打設後、厚さ15mmのモルタル目地を設けてこれらをストランドにより圧着接合した。目地モルタルにはプレミックス無収縮モルタルを用いた。このモルタルの力学的性質を表1に示す。同表には、梁とスタブの打設に用いたコンクリートの力学特性も併せて示してある。混合ストランドと普通ストランドを用いた試験体をそれぞれ4体ずつ作製した。実験パラメータは、緊張材種別（混合及び普通ストランド）、導入プレストレスの大きさ（ストランド1本あたりの導入力設計値

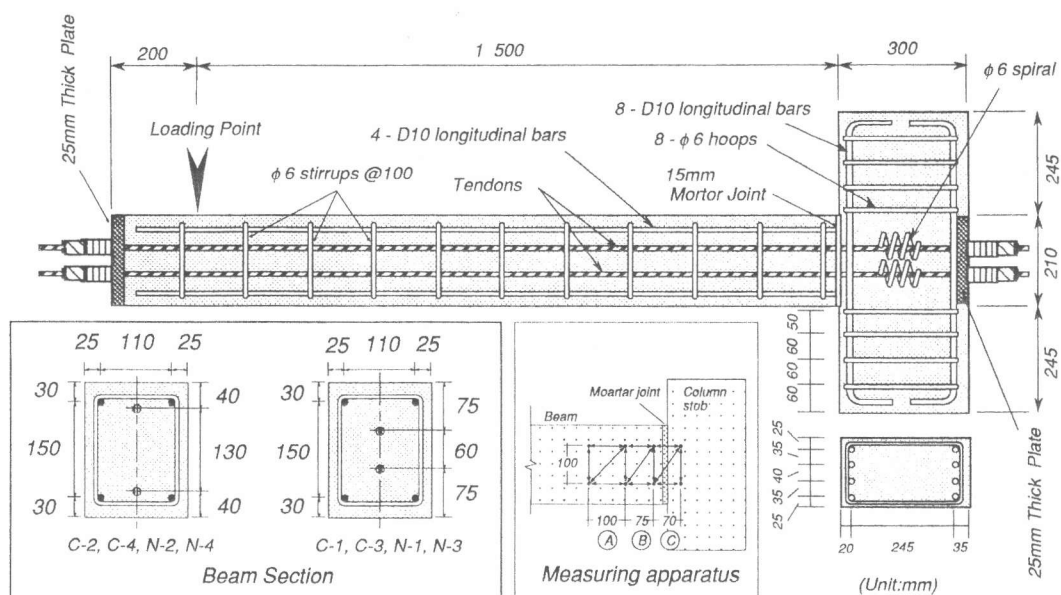


図4 試験体

35kN及び60kN）それに鋼材配置位置（断面の重心軸よりの偏心距離が30mmと65mm）である。この導入力は、図2のA及びB点に対応し、混合ストランドの場合には普通強度素線を導入時に降伏させることになる。建築学会PC規準[1]では、20kgf/cm²(1.96MPa)以上の圧着力を確

表1 コンクリート及びモルタルの力学特性

		f'_c (MPa)	ϵ_m (%)	Ei (MPa)
Concrete for beam and column stub	A	42.3	0.237	27900
	B	49.6	0.226	31700
Mortar for joint	A	60.7	0.252	30500
	B	62.0	0.362	29800

f'_c : compressive strength at the time of testing, ϵ_m : strain at compressive strength, Ei : initial modulus of elasticity

保するように規定している。本試験体では、導入力の小さい方の試験体で2.14MPa以上、大きい方の試験体では3.51MPa以上の応力が、試験時において梁に導入されており、P C 規準に規定されている圧着応力よりは大きな値となっている。表2には、各試験体の仕様をまとめて示す。

表2 試験体仕様

Specimen	Strand	Concrete for beam and column stub	Mortar for joint	e (mm)	P_d (kN)
C-1	Composite Strand (12.4mm)	A	A	30	70
C-2		A	A	65	70
C-3		B	B	30	120
C-4		B	B	65	120
N-1	Ordinary Strand (SWPR7A 9.3mm)	A	A	30	70
N-2		A	A	65	70
N-3		B	B	30	120
N-4		B	B	65	120

e : location of strand measured from centroidal axis of beam

P_d : design prestressing force to be introduced into the beam

ストランドの両端に挟み込んだロードセルにより測定したプレストレス導入直後と実験直前の導入力の大きさを表3に示す。表には有効率も併せて記載されている。混合ストランドを用いた試験体の有効率の値は95～99%であり、普通ストランドを用いた試験体でもほぼ同じ値となっている。なお、プレストレス導入から実験までの日数は、25～38日である。普通鉄筋をその降伏点を超えて緊張したことによる有効率への影響は小さかったことが示されている。

載荷は、図5に示すようにスタブを鉄骨フレームに緊結し、他端に加力することにより行った。1/200,1/100,1/50,1/33,1/25及び1/20の各梁部材角でそれぞれ2回ずつの繰り返し載荷とした。また、図4に示すように梁のクリティカル断面付近で梁の変形をA, B, Cの3区間で測定し、この測定値より梁の曲げ、せん断及び軸方向変形を分離した。

4. 実験結果

4. 1 荷重－変位関係

いずれの試験体も最終のループである1/20の梁部材角に至るまで大きな荷重の低下や、ストランドの破断などは観察されなかった。また、目地モルタルの落下も見られなかった。曲げひび割れは、梁の載荷点近くにまで生じたが、変形が大きくなるにつれて、圧着目地部のひび割

表3 プレストレス導入力の変化とその有効率

Specimen	Prestressing force at the introduction of prestress (kN), P_i	Prestressing force at the time of testing (kN), P_e	P_e/P_i
C-1	74.2	73.4	0.987
C-2	74.3	73.7	0.992
C-3	124.0	118.0	0.956
C-4	126.0	120.0	0.952
N-1	72.6	71.9	0.989
N-2	72.4	72.1	0.997
N-3	131.0	125.0	0.952
N-4	125.0	124.0	0.994

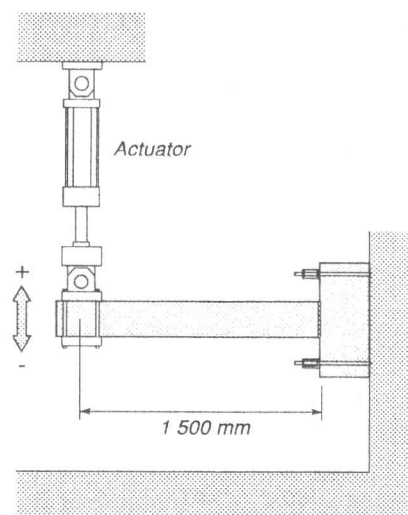


図5 載荷装置

れのみが大きく開いた。図1のA, B, C 3区間での梁の変形の測定結果に基く梁材端変位に占める圧着目地部（A区間）での曲げ変形の割合は、1/200の小さな回転角では60%以上、1/50以降の大変形時には80%以上となっている。この曲げ変形は、圧着目地部でのひびわれ開口に起因する。図6に各試験体の梁端荷重－梁端変位関係を示す。この図では、測定された荷重と

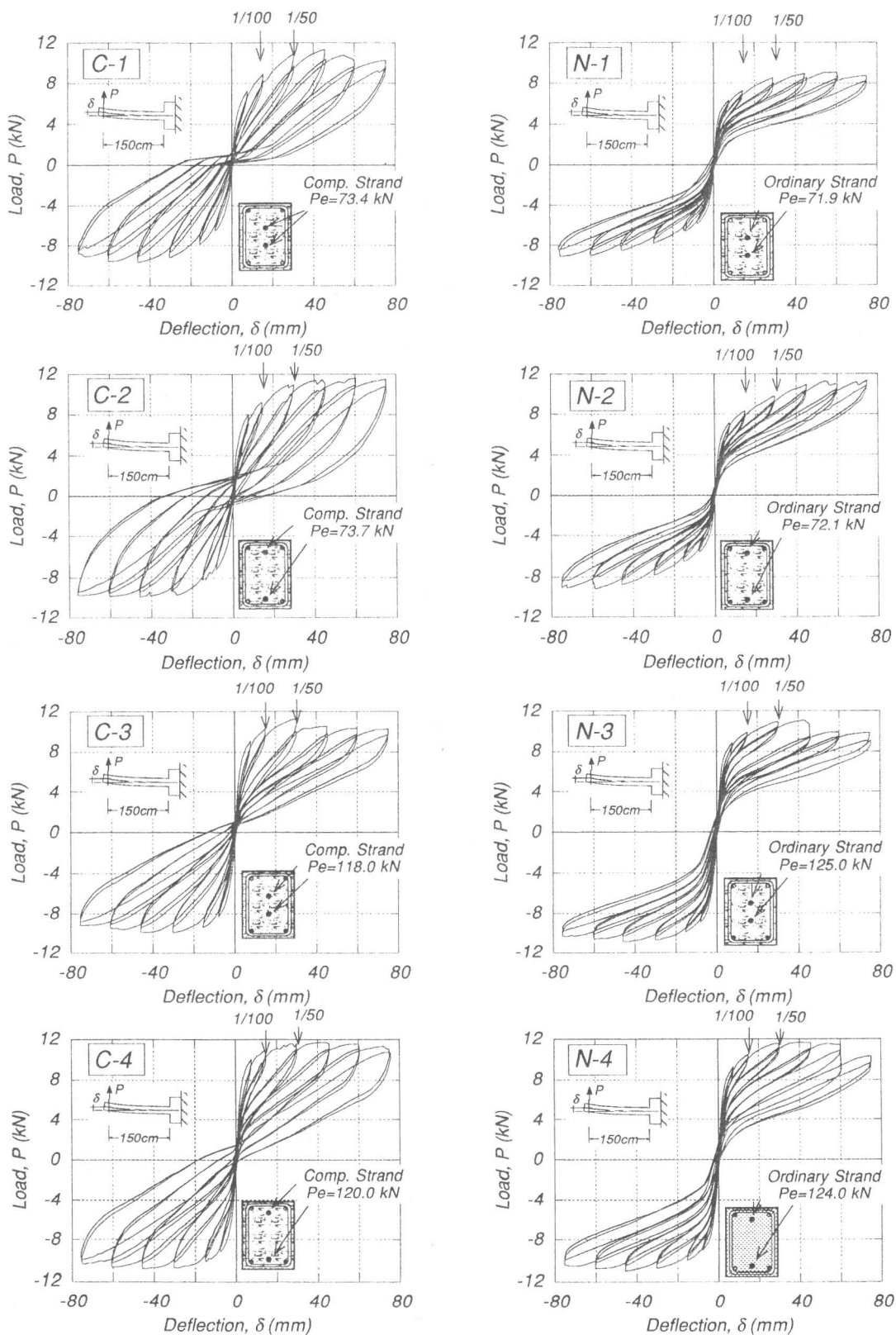


図6 梁端荷重－梁端変位関係

変位に試験体自重分を補正してある。従来のストランドと比較して混合ストランドを使用したCシリーズ試験体では、履歴エネルギー消費の大きな復元力特性が得られた。各载荷段階での第2ループにおける等価粘性減衰定数を示したのが図7である。1/200程度の回転角では差はほとんどないが、回転角が大きくなるにしたがって、混合ストランドを用いたCシリーズの等価粘性減衰は、普通ストランドを用いたNシリーズを大きく上回る。特にストランドの偏心距離の大きなC-2、4では、これに対応する試験体N-2、4と比較して、梁回転角1/50でそれぞれ2.18及び1.57倍、また、1/25ではそれぞれ2.85及び1.33倍となった。また、導入力小さなC-2の方が大きなC-4も履歴エネルギー吸収能力が大きくなるのは、後の4.2に示すようにプレストレス力が減少し、原点指向性が弱まるためである。したがって、履歴エネルギー吸収の点からは導入力は大きくない方が良いといえる。しかしながら、導入力小さなC-1及びC-2では、荷重0の近傍でスリップ型の性状を示す。これは、4.2に示すストランド端部のロードセルによるストランド張力計測値から推定すると、普通強度素線が圧縮となり、ストランド全体としてもその応力が圧縮に転じてストランドが定着部より抜け出すためである。導入力大きな試験体では高強度素線の引張力が普通強度素線の圧縮力と比べて大きく、大きな変形を受けた後でも圧着力が保持されるため、スリップ型の性状は示さない。

予備試験[2]では、ストランドの偏心距離を大きくとった試験体でストランドの破断により部材の破壊に至ったため、今回の試験体の導入力小さなものでは、同じストランドに対して1本あたりの導入力を予備試験の約半分と設定した。本実験結果によるとスリップ性状の程度はあまり大きくはないものの、ある程度大きなプレストレス導入力を与えて、大塑性変形域での繰返し载荷の際の導入力の減少を補う必要がある。

図8に各試験体の初期载荷時の荷重-変位関係を、梁全断面を有効として計算した弾性剛性と比較して示す。導入力大きなC-3、4及びN-3、4で得られた初期剛性は、計算値に近い値となるが、導入力小さなC-1、2及びN-1、2では80%程度となっている。試験時の有効プレストレス力に基づいて計算すると、導入力小さな試験体では変位が約0.53mmの時、また、導入力大きな試験体では約0.89mmの変位で梁クリティカル断面の引張縁の応力が0となる。C-1、2及びN-1、2では、最初の測定点がこの変位を大きく超えてしまったため見かけ上剛性が低くなったと考えられる。

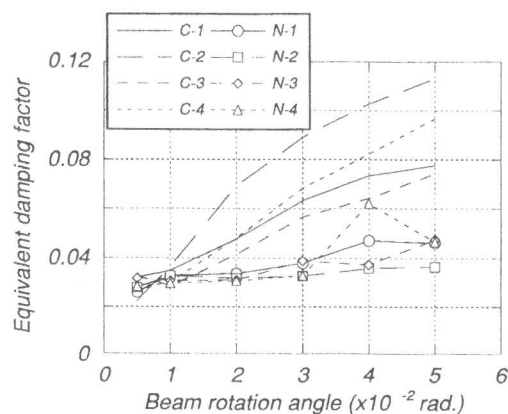


図7 等価粘性減衰定数

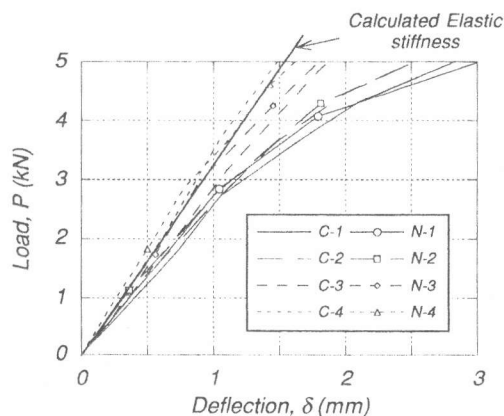


図8 初期载荷段階での剛性

4.2 ストランドの張力変動

図9に固定端側のロードセルで測定したストランドの張力の変動を示す。ここでは、変動の大きなC-2、4及びN-2、4試験体のみについて示す。図より混合ストランドにおいて

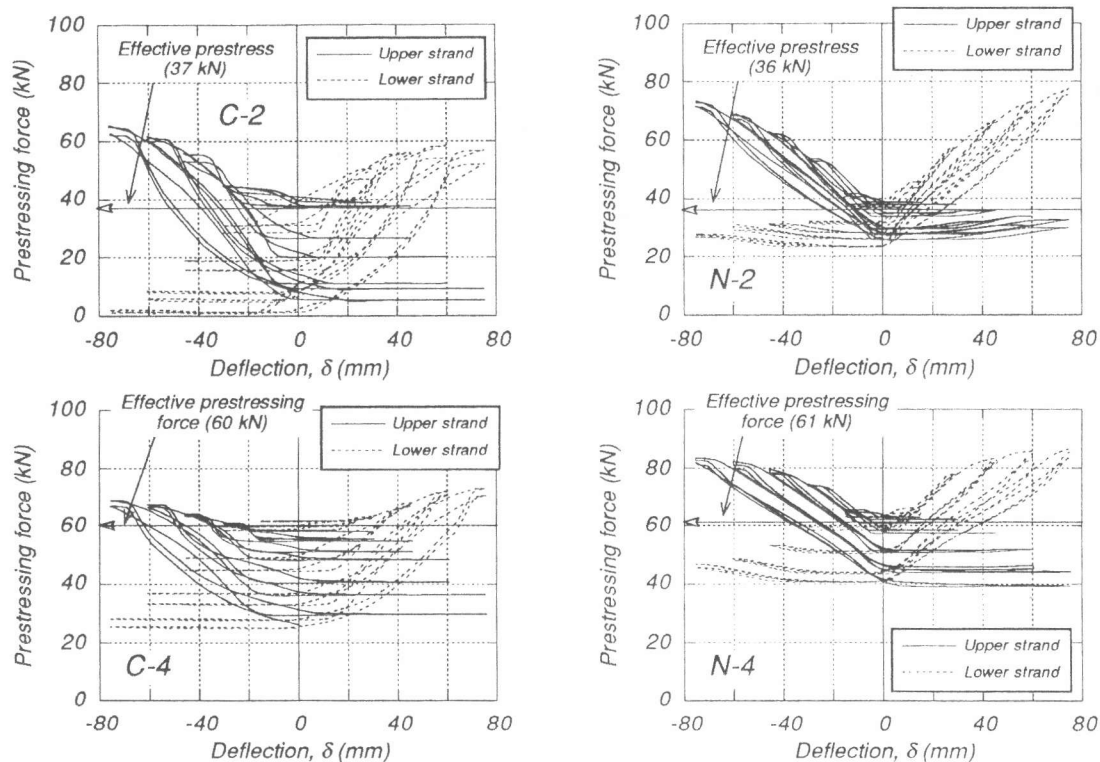


図9 ストランドの張力変動

は、プレストレス力の減少が大きくなっていることがわかる。

4. 3 接合面でのすべり

C-2 試験体で測定した図4のC区間における梁柱接合部でのすべり（材軸と直交方向の変位）を示す。C-2はプレストレス力が最も大きく減少し、接合部でのすべりも大きいと考えられるが、測定値は±0.5mm以内におさまっている。したがって荷重-変位関係に表れているスリップの現象は、ストランドの抜け出しによるものである。

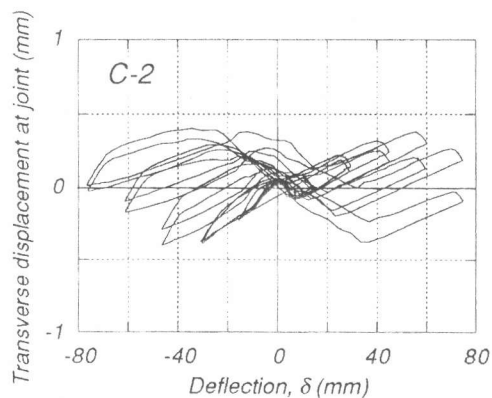


図10 接合部でのすべり

5. 結び

混合ストランドと普通ストランドを用いて作製したプレキャスト圧着接合梁柱骨組に対する載荷試験より以下のような結論が得られた。

1. 1/200程度の部材回転角では履歴エネルギー消費に差はほとんどないが、回転角が大きくなるにしたがって、従来のストランドと比較して混合ストランドを使用した試験体では、履歴エネルギー消費の大きな復元力特性が得られた。
2. 導入力の小さな試験体では、普通強度素線が圧縮となり、ストランド全体としてもその応力が圧縮に転じて定着部より抜け出すため、荷重0の近傍でスリップ型の性状を示した。

【謝辞】 混合ストランドの製作にあたり住友電気工業株式会社臼井及び三上両氏の協力を得ました。

【参考文献】 1) 日本建築学会：プレレストコンクリート設計施工規準・同解説、1987年
2) 丹羽、渡辺、西山、六車：エネルギー消費型プレキャスト柱梁圧着接合工法、建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.535-536、1993年9月