

論文

[2099] プレキャスト部材接合面のせん断スリップ挙動について

正会員 榎谷 浩 (金沢大学工学部)

正会員 藤井 智弘 (金沢大学大学院)

正会員 吉田 博 (金沢大学工学部)

1. まえがき

ロックシェッドやスノーシェッド、スラブ橋などの土木構造物が、プレキャストコンクリート部材を用いて、PC鋼材などの横締めにより現場で一体化され、比較的簡単に建設されることが多くなってきている。このようなプレキャストコンクリート構造物は、部材接合部の持つ力学特性がほとんど明らかにされていないため、必要とされる横締め方法、荷重作用時の挙動特性、構造の解析方法および破壊形式が解明されていないのが現状である。

プレキャストコンクリート構造物に荷重が作用するとき、部材接合部にはせん断力が発生し、このせん断力がある一定値に達するとせん断スリップが発生することが予想される。本研究は、一連の静的および動的せん断スリップ実験を行い、各種接合方法におけるせん断スリップ挙動特性とそのモデル化について検討したものである。

2. 実験方法

実験供試体および載荷装置を図-1に示す。供試体はA-1部であり、A-2部は荷重伝達用の支承部としてA-3部は台座である。A-2部の上部より鉛直下向きに荷重を作用させることにより、A-1とA-2の接合面にせん断力を作用させること

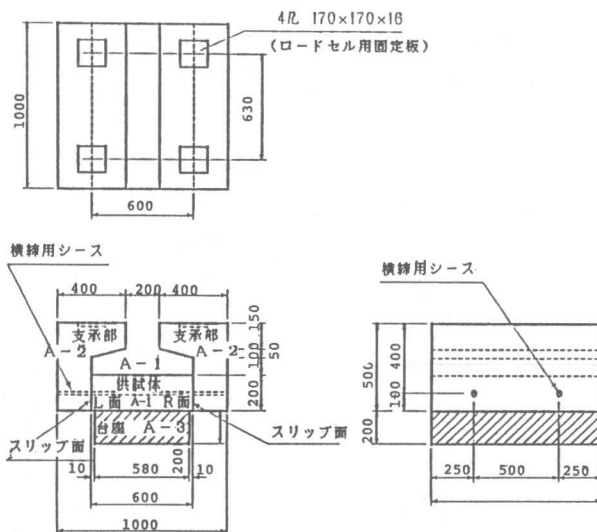


図-1 実験用供試体および装置

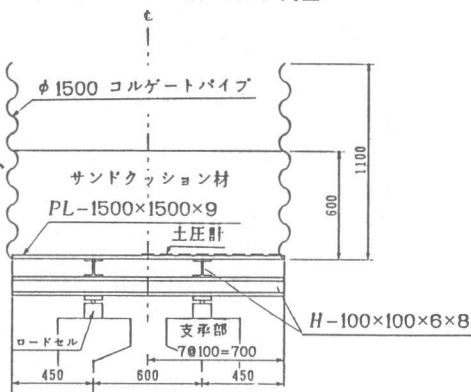


図-2 動的載荷用土槽

表-1 各種処理方法に対する横締力

実験方法 接合面 処理方法	静的載荷試験		動的載荷試験	
	横締力 tf (1本当り)	横力 tf	横締力 tf (1本当り)	横力 tf
無処理	2.5 5.0	10.0 20.0	5.0 10.0	20.0 40.0
グラウト 処理	4.0 8.0	16.0 32.0	4.0 8.0	16.0 32.0
モルタル 処理	1.5 3.0	6.0 12.0	—	—
モルタル・ グラウト処理	1.5 3.0	6.0 12.0	—	—

300 kgf

球底

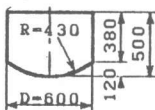


図-3 重錘

ができるようになっている。A-1は2体のA-2に挟まれており、下面より10cmの位置にφ32mmのシース2本が配置されている。これらA-1およびA-2のシース内に通したPC鋼棒を緊張することにより、供試体A-1に横締力を与えることができる。なお、支承部のA-2上部には荷重測定のためのロードセルを、供試体A-1と支承部A-2のスリップ検出のためにそれぞれの側面に変位計を設置した。

本実験では、静的荷重と動的荷重の2種類の荷重方法を用いた。静的荷重実験ではオイルジャッキを用いて、図-1に示したA-2の上部の4点に荷重を作用させ、単調荷重あるいは繰返荷重を行った。動的荷重実験では、図-2に示す厚さ60cmのサンドクッションを敷いた荷重用土槽を支承上に設置し、その上に図-3に示す重量300kgfの重錘を自由落下させて行った¹⁾。

接合面の処理、シース内の処理方法が異なる以下の4種の実験供試体を用いた。

- 1) 無処理：接合面およびシース内に全く処理がなされていないもの。
- 2) グラウト処理：接合面は処理されていないが、横締用鋼棒とシース間にグラウトを注入したもの。
- 3) モルタル処理：シース内は処理されていないが、接合面にモルタルを1cmの厚さで打設したもの。
- 4) モルタル・グラウト処理：接合面をモルタル処理し、シース内にグラウト注入を施したもの。

なお、各処理に対して横締力は表-1に示すように2種類とした。また、以後、全横締力とは供試体各側面の受ける圧縮力を表し、横力とは供試体の両側面に作用する圧縮力の和を表すものとする。このような2種類の圧縮力を用いたのは、本実験において、供試体左右両面でスリップが発生す

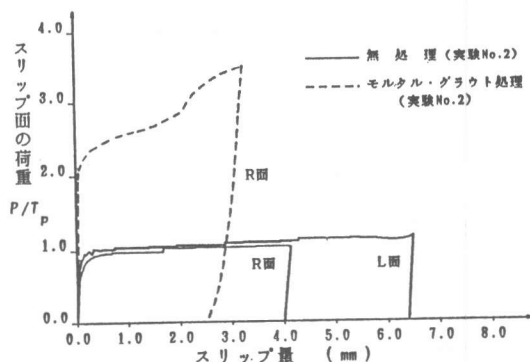


図-4 荷重とスリップ量
(無処理、モルタル・グラウト処理)

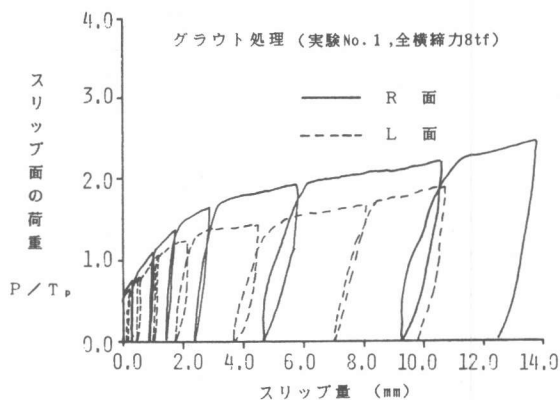


図-5 荷重とスリップ量 (グラウト処理)

表-2 スリップ発生荷重値 (静的単調荷重、無処理)

実験No	全横締力 tf	横力 tf	供試体 No	スリップ発生荷重 tf	スリップ発生荷重 横力
1	5.0	10.0	1	8.85	0.885
2				8.09	0.809
3				7.45	0.745
4			2	7.55	0.755
5				8.08	0.808
6				7.16	0.716
平均				7.86	0.786
1	10.0	20.0	1	17.58	0.879
2				14.05	0.703
3				16.22	0.811
4			2	14.78	0.739
5				14.00	0.700
6				12.69	0.635
平均				14.89	0.745

る場合と、どちらかの面だけにスリップが発生する場合があったためである。すなわち、本実験では、1本当りの横縮力の2倍が全横縮力、4倍が横力となる。

3. 実験結果

(1) 静的実験結果

図-4は、無処理の場合とモルタル・グラウト処理の場合について、供試体の左右両面での荷重と接合面でのスリップ量の関係の一例を示したものである。なお、荷重はせん断面1ヶ所あたりの荷重 P を全横縮力 T_P で無次元化したものである。モルタル・グラウト処理の場合、無処理に比べスリップ発生荷重がかなり大きいことがわかる。また、無処理の場合、スリップ発生後、荷重の増加なしにスリップ量が増加するのに対して、モルタル・グラウト処理では、スリップ発生後も荷重の増加が認められる。

図-5はグラウト処理の場合について、繰返し載荷時の荷重 P/T_P とスリップ量の関係の一例を示したものである。スリップ発生荷重は、先に示したモルタル・グラウト処理に比べかなり小さく、無処理の結果に近いことがわかる。しかし、スリップ発生後は、モルタル・グラウト処理と同様にスリップ発生後も荷重の増加が認められる。なお、どの実験においても供試体間の相対変位が0.1mm程度よりスリップ量が急激に増加していることより、0.1mmをスリップ発生の判定基準とした。

各処理方法ごとに実験結果を整理すると以下ようになる。

表-3 スリップ発生荷重値
(静的繰返載荷、グラウト処理)

実験 No	全横縮力 tf	横力 tf	スリップ発生荷重 tf	スリップ発生荷重横力
1	8.0	16.0	10.28	0.642
2	8.0	16.0	8.08	0.505
平均				0.574
1	16.0	16.0	23.18	0.724
2	16.0	16.0	18.24	0.570
平均				0.647

表-4 スリップ発生荷重値
(静的単調載荷、モルタル処理)

実験 No	全横縮力 tf	横力 tf	スリップ発生面	スリップ発生荷重 tf	スリップ発生荷重横力
1	3.0	6.0	L	18.18	3.030
2	6.0	12.0	R	31.10	2.592
平均					2.812

表-5 スリップ発生荷重値
(静的単調載荷、モルタル・グラウト処理)

実験 No	全横縮力 tf	横力 tf	スリップ発生面	スリップ発生荷重 tf	スリップ発生荷重横力
1	3.0	6.0	L	15.26	2.544
2	6.0	12.0	R	26.68	2.224
平均					2.384

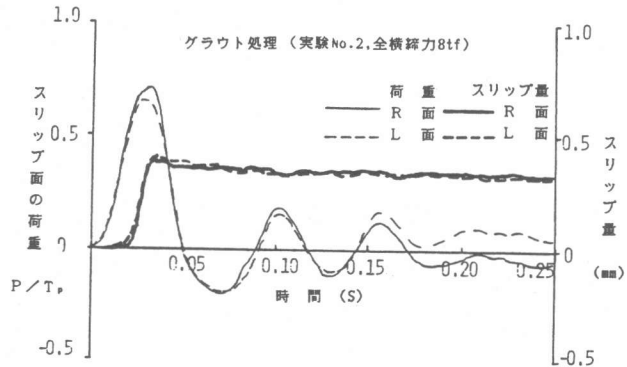


図-6 荷重とスリップ量の時間変化 (グラウト処理)

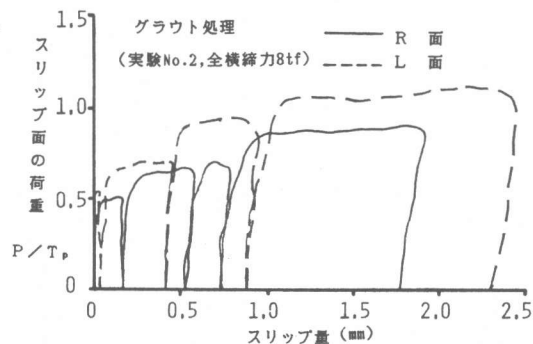


図-7 荷重とスリップ量 (動的、グラウト処理)

a) 無処理の場合

無処理の場合の全横締力、供試体の面に作用する横力、接合面でスリップが生じたときの全荷重値およびこれらより算出した横力に対するスリップ発生荷重の比すなわちせん断面に作用する圧縮力とせん断力の比を表-2に示す。この表より、接合面にスリップが生ずる荷重は横力にほぼ比例し、横力の約0.7倍であることがわかる。また、どの場合においてもスリップが発生すると荷重の増加は認められなかった。

b) グラウト処理の場合

グラウト処理の場合の実験結果を表-3に示す。接合面にスリップが生ずる荷重は、せん断面に作用する圧縮力の約0.6倍であることがわかる。どの場合においても図-4のモルタル・グラウト処理と同じように、スリップ発生後も荷重の増加が認められた。

c) モルタル処理およびモルタル・グラウト処理の場合

モルタル処理およびモルタル・グラウト処理における実験結果を表-4および表-5に示す。接合面をモルタル処理した場合には接合面のどちらか一方のみでスリップが発生するケースがほとんどであるため、最初にスリップが発生した面についてのスリップ荷重およびこれに対応する比を求めた。スリップが生ずる荷重は、どちらの処理においても接合面に作用する圧縮力の約2.5倍程度と接合面がモルタル処理されていないものに比べ非常に大きいことがわかる。モルタル処理だけのものは、無処理の場合と同様に、スリップが発生した後、荷重がほぼ一定のままスリップ量が増大する。しかし、モルタル・グラウト処理のものは、グラウトの影響と考えられるが、スリップ量が増大し始めても、荷重の増加が認められる。

(2) 動の実験結果

図-6は、グラウト処理の場合について、供試体左右両接合面の荷重 P/T_0 とスリップ量の時間変化の一例を示したものである。各面に作用する荷重が立上ってその最大値に達するすこし前にスリップが発生し始める。そして、荷重が最大値に達した後、スリップ量にほとんど変化

表-6 スリップ発生荷重値(動的、無処理)

実験No	全横締力	スリップ発生面	落下高さ m	各面の最大荷重 tf	各面の最大荷重全横締力
1	10.0	L	2.0	6.29	0.629
		R	2.0	7.22	0.722
2	10.0	L	2.0	8.22	0.822
		R	3.5	10.33	1.033
3	10.0	L	3.5	8.77	0.877
		R	3.5	9.33	0.933
4	10.0	L	2.0	6.88	0.688
		R	2.0	6.90	0.690
5	10.0	L	3.0	7.98	0.798
		R	3.5	8.80	0.880
平均					0.814
1	20.0	L	5.0	11.78	0.589
		R	7.5	16.10	0.805
2	20.0	L	6.0	10.72	0.536
		R	7.0	13.92	0.696
3	20.0	L	6.0	13.27	0.664
		R	6.0	13.91	0.696
4	20.0	L	5.0	12.67	0.634
平均					0.660

表-7 スリップ発生荷重値(動的、グラウト処理)

実験No	全横締力	スリップ発生面	落下高さ m	各面の最大荷重 tf	各面の最大荷重全横締力
1	8.0	L	0.5	7.30	0.913
		R	2.0	3.71	0.464
2	8.0	L	2.0	7.21	0.901
		R	1.0	5.61	0.701
3	8.0	L	1.0	5.90	0.738
		R	2.0	7.61	0.951
平均					0.778
1	16.0	L	5.0	11.78	0.648
		R	7.5	16.10	0.771
2	16.0	L	6.0	10.72	0.870
		R	7.0	13.92	0.843
3	16.0	L	6.0	13.27	0.598
		R	6.0	13.91	0.653
平均					0.731

がないことがわかる。

動的実験では、スリップが生じた後も重錘の落下高さを上げ、数回载荷を繰返した。図-7は、グラウト処理の場合について、繰返し動的载荷における荷重 P/T_p スリップ量の関係を示したものである。スリップ発生後も荷重が増加することがわかる。

各処理方法ごとに実験結果を整理すると以下のようになる。

a) 無処理の場合

無処理の場合の全横締力、供試体の両面に作用する横力、接合面でスリップが生じた場合の全荷重値の最大値およびこれらより算出した横力に対するスリップ発生荷重の比を表-6に示す。この表より、接合面にスリップが生ずる荷重と全横締力との比は、横締力が大きいとやや小さいが、静的試験と同じく横力の0.7倍程度であることがわかる。

b) グラウト処理の場合

グラウト処理の場合の実験結果を表-7に示す。接合面にスリップが生ずる荷重は横締力に関係なく、静的結果に比べやや大きい、やはり横力の約0.7倍であることがわかる。

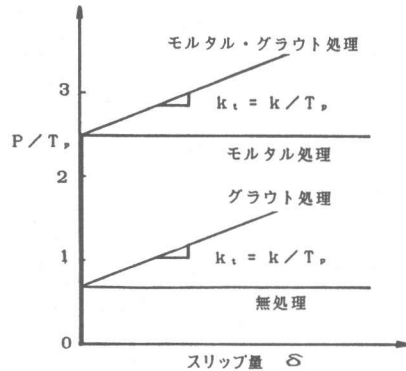


図-8 せん断特性モデル

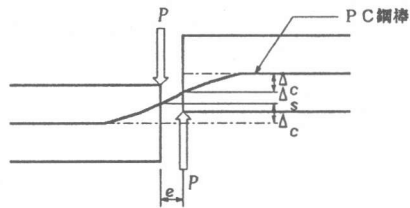


図-9 接合部のせん断変形

4. せん断スリップ挙動のモデル化

実験結果より、プレキャスト・コンクリート部材間のせん断挙動を図-8に示すようなモデルで表すことができる。ここに、縦軸 P/T_p は、接合面に作用する荷重 P を全横締力 T_p で除したものであり、横軸は接合面の相対変位 δ であり、 k_t はスリップ発生後の勾配を示している。スリップ発生荷重 P_s は、接合面に何も処理が施されていない場合、全横締力との比 P_s/T_p で、0.7程度、接合面にモルタル処理が施されている場合、 $P_s/T_p=2.5$ 程度と考えられる。スリップ発生後、シーす内にグラウトが注入されていない無処理やモルタル処理では、荷重がほぼ一定のまま相対変位が増加していることより、 $k_t=0$ となる。また、グラウト処理がなされている場合、スリップ発生後の相対変位は、図-9に示すように、接合面の間隔 e を有する2枚のコンクリート版にせん断力 P が作用する場合を考えると、

$$\Delta = \Delta_s + 2\Delta_c \tag{1}$$

で与えられる。ここに、 Δ_s はPC鋼棒のせん断変形、 Δ_c はコンクリートの変形である。文献2)、3)によるとPC鋼棒の上下のコンクリートの変形は、

$$\Delta_c = \frac{P}{4\beta^3 EI} (2 + \beta e) \tag{2}$$

により与えられる。ここに、 $\beta = \{Kb/(4EI)\}^{1/4}$ であり、 K はコンクリートの支圧係数で、一

般に8300~41500kg/cm³の範囲であるとされており、支圧幅がaコンクリートのヤング係数がE。であればK=E_c/aである。また、bはPC鋼棒の直径、EおよびIはPC鋼棒のヤング係数および断面2次モーメントである。通常、Δ_s≪Δ_cであるため、PC鋼棒に接触するコンクリートの変形のみを考慮すれば、ばね定数kは次式により与えられる。

$$k = \frac{2\beta^3 EI}{(2+\beta e)} \quad (3)$$

ここに、k=k_tT_pで表される。本実験に上式(3)を適用するとk=13.8~46.1 tf/cmとなるが、実験では、スリップ量1~2mmまでで、k=10~20tf/cmと、式(3)の下限值程度の値が得られている。

5. まとめ

横締めされたプレキャスト部材間のせん断スリップ挙動特性に対する検討結果は以下のようにまとめられる。

1) コンクリート接合面に処理がなされていない場合、接触面に作用する圧縮力の0.5~0.9倍のせん断力でスリップが発生する。静的載荷と動的載荷によるスリップ発生荷重の有意な違いは認められなかった。

2) コンクリート接合面にモルタルが打設されている場合、グラウト注入の有無によらず、無処理に比べスリップ発生荷重はかなり大きく、接触面に作用する圧縮力の2.2~3.0倍のせん断力でスリップが発生する。

3) シース内にグラウト注入がなされていない場合は、スリップ発生後、荷重の増加は認められないが、注入がなされている場合、荷重の増加が認められる。

4) 各種の処理に対して、接合部のせん断挙動は、比較的簡単なモデルで表すことができる。

今後、このようなせん断スリップ特性を基本に、プレキャストコンクリート構造の挙動特性、破壊形式そして破壊荷重の予測への適用が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 吉田博・榎谷浩・鈴木哲次：敷砂上の落石の衝撃加速度と衝撃土圧に関する実験的研究、土木学会論文集、No.352,1984年12月
- 2) 西沢辰男・松野三朗：コンクリート舗装の構造解析における有限要素法の適用性について、土木学会論文報告集、No.338,1983年10月
- 3) Timoshenko, S. and J.M.Lessels: Applied Elasticity, Westings Technical Night School Press, Pittsburg, Pennsylvania, 1925.