

論文

[2079] プレキャストコンクリート型枠相互の接合方法及び
本体コンクリートとの一体化

正会員○信田 佳延 (鹿島技術研究所)

山 毅彦 (鹿島横浜支店)

木村 英幸 (鹿島横浜支店)

1. はじめに

プレキャストコンクリート型枠をRC構造物やPC構造物に適用する場合、プレキャスト型枠も構造部材の一部とすることが望まれる場合がある。この場合の問題は、プレキャスト型枠と本体コンクリート及びプレキャスト型枠相互の間の構造的な一体性を確保することにある。本報文では、プレキャスト型枠をRC吊床版橋の引張部材に使用することを目的に実施した、プレキャスト型枠を含むパネル状RC部材の一体性に関する曲げ載荷試験結果を報告する。

試験は、プレキャスト型枠の表面処理方法（本体コンクリートとの接合面の処理方法）及びプレキャスト型枠相互の接合方法を要因として、ひびわれ発生荷重、ひびわれの進展状況、最大履歴荷重などについて、一体打設した試験体との比較により一体性の評価を行ったものである。

2. 試験方法

2. 1 試験の要因と試験体の種類

試験体は、プレキャスト型枠の表面処理方法を要因とした本体コンクリートとの一体性に関するもの、型枠の接合方法を要因としたプレキャスト型枠相互の一体性に関するもの及び比較のために使用した一体打設の試験体に大別される。表-1に試験の要因及び試験体の番号を示す。

試験体は、実際の施工で使用するプレキャスト型枠（幅3.8 m、長さ2.0 m）について、幅員方向の一部（50cm）を模したものであり、その形状・寸法は図-1に示すとおりである。

プレキャスト型枠の表面処理方法は、予備実験¹⁾を参考に施工性を考慮して定めたものである。表面処理方法のうち、骨材洗い出しは、コンクリート打設後、凝結遅延剤を塗布し、打設翌日に、水洗いすることにより行った。また、ジベルはリブ中央に20cm間隔（試験体長さ方向）で設置した。その詳細を図-2に示す。また、ジベル

筋量は、設計荷重時（荷重=1.5tonf）の接合面での全せん断力を分担できる量とした。

プレキャスト型枠相互の接合方法については、ひびわれ発生後の接合部での強度及び曲げ剛性が一体打設の場合と同等のものとなるよう、一体打設の場合の主筋の断面積以上の鋼材（ボルト、鉄筋）を使用した。エポキシ樹脂は、コンクリートの引張及び曲げ強度以上の曲げ接着強度を有するものを使用した。

図-3に曲がりボルトによる方法を、図-4及び図-5にそれぞれ、鉄筋を配置する方法、スプライススリーブ継手による方法を示

表-1 試験の要因

NO.	試験目的	試験の要因(接合方法)
1	本体との 一 体 性	無処理
2		骨材洗いだし
3		骨材洗いだし+ジベル
4	一体打設	比較用試験体
5	型枠相互 の 一 体 性	エポキシ樹脂
6		エポキシ樹脂+曲りボルト
7		エポキシ樹脂+曲りボルト+鉄筋
8		エポキシ樹脂+曲りボルト+鉄筋 (型枠内鉄筋継手)

す。鉄筋による接続は、プレキャスト型枠上に重ね鉄筋を配置する方法（長さは、接合面からの長さが鉄筋径の30倍）によった。曲がりボルトによる接続は、プレキャスト型枠のリブ端部にボルト孔及び箱抜きを設け、ボルトを挿入した後、トルク 800 kgf/cm^2 で締め付けた。

2. 2 使用材料

表-2に使用材料を示す。また、コンクリートの配合は表-3に示すとおりである。

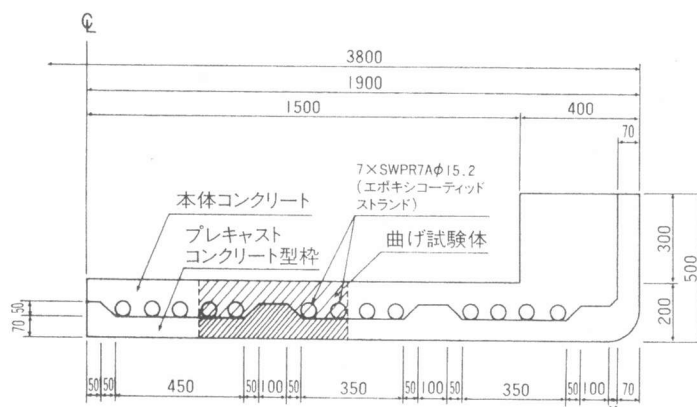
試験体作成時のフレッシュコンクリートの物性は、スランプが $6.0 \sim 9.0 \text{ cm}$ 、空気量は $3.0 \sim 4.4 \%$ であった。本体コンクリートは、プレキャスト型枠を打設した後、材令1週で打ち継いだ。載荷試験は、本体コンクリートが材令1週（プレキャスト型枠の材令は2週）の時点で実施した。一体打設を行った試験体については、プレキャスト型枠の材令に合わせて、材令2週で試験を実施した。

載荷試験時の硬化コンクリートの物性（平均値）は表-4に示すとおりであった。

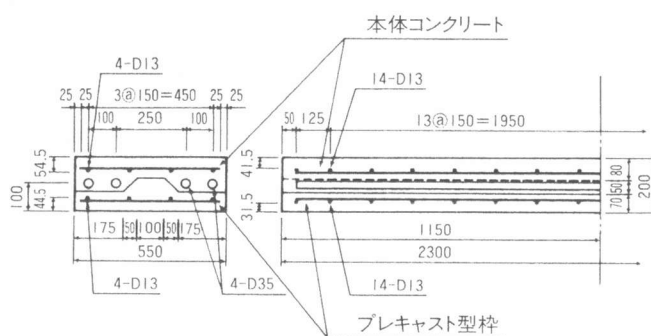
2. 3 載荷試験方法

試験には、サーボモータ駆動式の載荷装置（容量 100 ton ）を用いた。載荷は、ひびわれ発生まではひびわれの有無を確認しつつ静的な載荷を行い、ひびわれ発生後一旦除荷し、残留変形量を把握した後、再度最大荷重までの静的な載荷を行った。

載荷速度については、ひびわれ発生までは、クロスヘッドスピードは 0.05 mm/分 、除荷後から最大荷重までの再載荷では 0.15 mm/分 とした。測定項目は、ひびわれ状況記録、荷重とたわみ、コンクリート及び鉄筋ひずみ（No. 3及びNo. 4試験体）である。測定装置には、荷重変換器（容量 100 ton ロードセル）、変



a. プレキャスト型枠



b. 試験体

図-1 試験体の形状・寸法

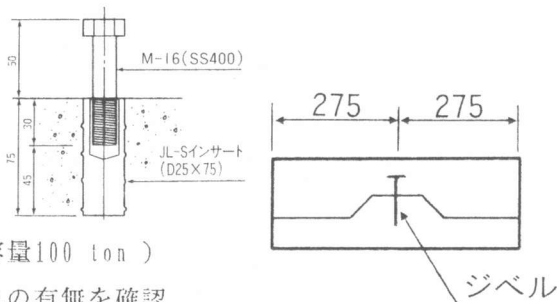


図-2 ジベル接合

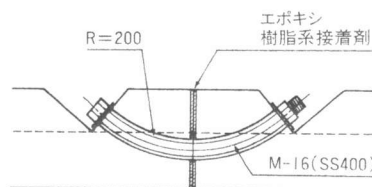


図-3 曲がりボルト

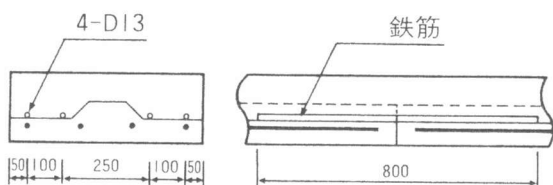


図-4 鉄筋による接合

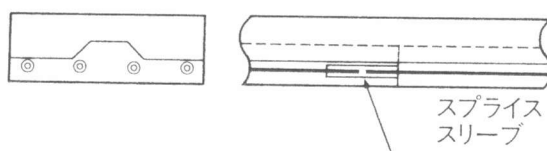


図-5 スプライススリーブ接合

表-2 使用材料

使用材料	摘 要
セメント	早強ポルトランドセメント、比重：3.14
細骨材	大井川産川砂、粗粒率：2.74、比重：2.61
粗骨材	八王子産砕石、粗粒率：6.90、比重：2.66
水	調布市水道水
混和剤	AE減水剤(No.70)、補助AE剤(No.303)
鉄筋	異形鉄筋、SD345
接着剤	エポキシ樹脂系接着剤、ボンドE200(コニシ(株)製) 曲げ接着強度70kgf/cm ² 以上
ポルトスリーブ	M16(SS400)
スリーブ	NMBスプライススリーブ、4U-X(日本スプライススリーブ(株)製)

位変換器(精度0.01mm)、ワイヤーストレインゲージを使用した。載荷状況図、たわみ及びひずみの測定位置図は図-6及び図-7に示すとおりである。

なお、型枠相互の接合部を有する試験体(No.5~No.8)については、接合部を試験体中央(曲げスパン中央)に配置した。

3. 試験結果

3.1 本体コンクリートとの一体性に関する試験結果

プレキャスト型枠と本体コンクリートとの一体性試験におけるひびわれ発生荷重、最大荷重及び破壊形態に関する試験結果を表-5に示す。表-5中の最大荷重の計算値は、断面を微小要素に分割し、要素の応力ひずみ関係と断面の平面保持を仮定した応力・ひずみのつりあいに基づく曲げ耐力算定手法(道路橋示方書耐震設計編参考資料に準拠)²⁾を用い、プレキャスト型枠と本体コンクリートが完全に一体化している場合及び一体化していない場合、すなわちプレキャスト型枠内の鉄筋を考慮する場合(表-5の計算値a)と、しない場合(表-5の計算値b)について求めたものである。ひびわれ発生荷重は、一体打設した試験体(No.4)がもっとも小さな値を示しており、プレキャスト型枠の表面処理方法の影響は認められなかった。

表-3 コンクリート配合

Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和剤(No.70)
25	8±2	4±1	36	40	170	472	668	1021	C×0.35%

表-4 硬化コンクリートの物性 (kgf/cm²)

	プレキャスト型枠	本体コンクリート	一体打設コンクリート
圧縮強度	558	498	573
引張強度	31.2	31.4	31.7
曲げ強度	44.7	46.8	43.9
弾性係数(x10 ⁵)	3.12	3.03	3.20

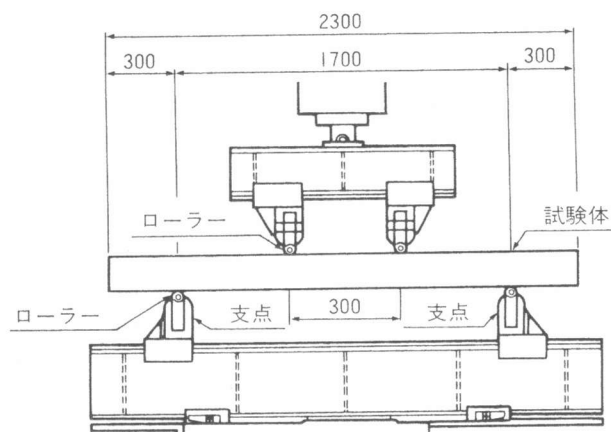


図-6 載荷状況図

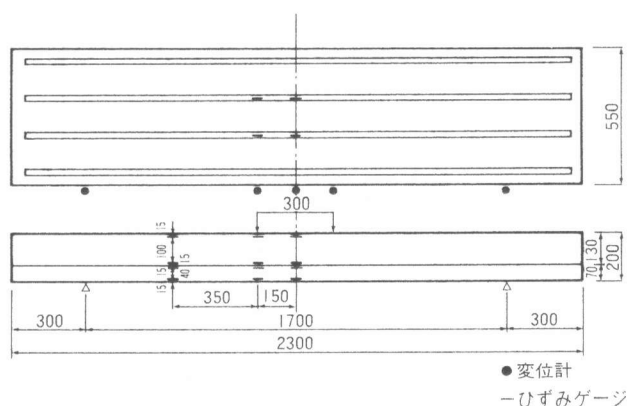


図-7 たわみ及びひずみの測定位置

最大荷重については、No. 4試験体での実験値が最も大きな値を示したが、プレキャスト型枠を有する試験体（No. 1～No. 3）の実験値に比べ、最大荷重に大きな差は認められなかった。これは、いずれの試験体でもプレキャスト型枠内の鉄筋が機能している結果であり、計算値との比較においてもプレキャスト型枠を有する試験体では、いずれも100%程度（98～103%）の値を示し、鉄筋を考慮した計算値に合致することで裏付けられている。

一体性試験での荷重－スパン中央部たわみ曲線を図－8に示す。No. 1試験体（表面無処理）では、荷重が32.5ton前後をこえると荷重の減少・変位の増加という現象が繰り返しみられた。これは、後述するようにプレキャスト型枠と本体コンクリートとの接合面でのひびわれがスパン全体に生じたためと思われた。No. 2（骨材洗い出し）及びNo. 3試験体（骨材洗い出しとジベルの併用）では、一体打設の試験体（No. 4）の結果と大きな差は認められなかった。

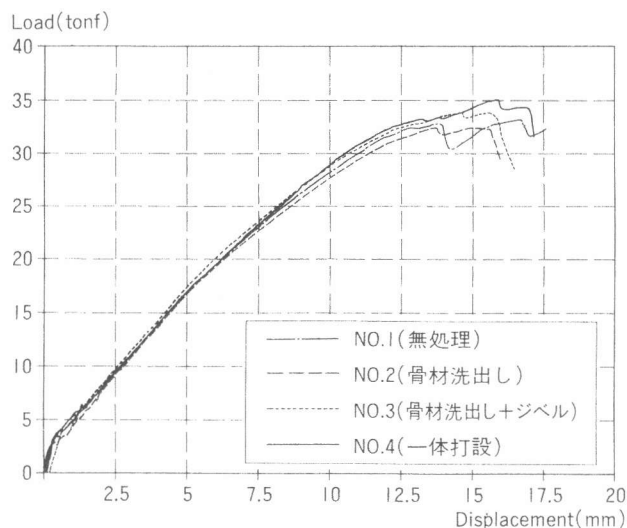
図－9は、荷重とコンクリートひずみ（スパン中央圧縮縁）の関係を示したものである。図－9によると、各試験体間で顕著な差は認められなかったが、No. 3試験体とNo. 4試験体とではほとんど同様の関係が認められたこと及びNo. 1試験体では、荷重たわみ曲線と同様の性状、すなわち最大荷重付近での荷重の減少・ひずみの増加の繰り返しが見られたなどの結果が示された。

なお、No. 3試験体とNo. 4試験体については、載荷点位置での鉄筋の荷重ひずみ関係が、両者ともにほとんど同様の関係を示す結果が得られている。

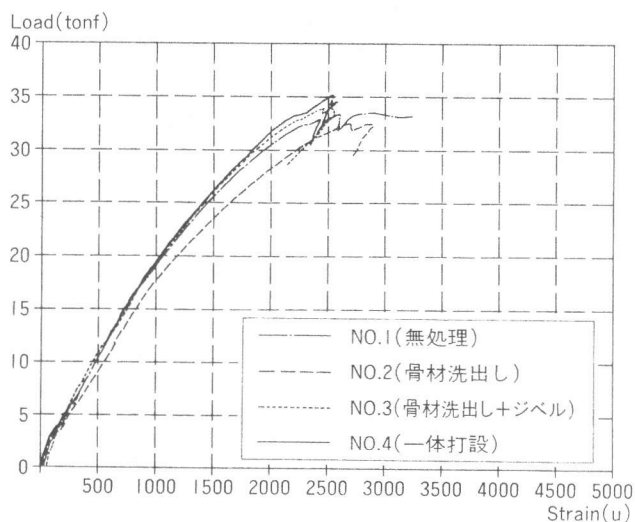
図－10及び表－6にひびわれの発生状況を示す。No. 1試験体では、各荷重段階でのひびわれ本数がNo. 4試験体に比べて多くなっており、さらに、プレキャスト型枠と本体コンクリートとの接合面に沿ったひびわれが、載荷初期の段階（荷重5 tonf程度）より発生し、最大荷重付近ではスパン全体に渡って進展したことが示されている。また、プレキャスト型枠に生じた

表－5 曲げ載荷試験結果

供試体 NO.	ひびわれ 発生荷重 (tonf)	最大荷重(tonf)			実験値 計算値 (%)		破壊形態
		実験値	計算値		(a)	(b)	
			(a)	(b)			
1	1.8	33.4	33.1	28.6	101	117	コンクリートの圧壊
2	2.1	32.4	32.9	28.5	98	114	コンクリートの圧壊
3	1.7	33.8	32.9	28.5	103	119	コンクリートの圧壊
4	1.4	35.0	35.1	—	100	—	コンクリートの圧壊
5	1.2	29.5	34.5	29.5	86	100	コンクリートの圧壊
6	1.7	29.7	34.5	29.5	86	101	コンクリートの圧壊
7	1.3	31.9	33.3	28.8	96	111	コンクリートの圧壊
8	1.5	32.4	33.3	28.8	97	113	コンクリートの圧壊



図－8 荷重たわみ曲線（一体性試験）



図－9 荷重ひずみ関係（一体性試験）

ひびわれの進展が接合面までで止まるという現象も見られている。このようなひびわれの発生状況はNo. 1ほど顕著ではないものの、No. 2試験体についても同様のものがあった。以上の結果に対し、No. 3試験体では、ひびわれ本数・発生状況ともにNo. 4試験体と同様の傾向を示しており、接合面に沿ったひびわれの発生も認められず、一体性の観点からはジベルの有効性を示す結果となった。

なお、最終的に生じた試験体の破壊は、いずれの場合もコンクリートの圧縮破壊であった。

3. 2 型枠相互の一体性に関する試験結果

試験体No. 5～No. 8についてひびわれ発生荷重、最大荷重および破壊形態は、表-5に示すとおりである。ひびわれ発生荷重は、各試験体ともそれ程大きな差は見られず、エポキシ樹脂による接着のみでも一体打設した試験体（No. 4）と同等のひびわれ荷重が得られるた。

最大荷重については、No. 5（エポキシ樹脂）及びNo. 6（エポキシ樹脂+曲がりボルト）では、一体化していないとの仮定に基づく計算値に近い実験結果が得られた。試験体No. 7（エポキシ樹脂+曲がりボルト+鉄筋）及びNo. 8（エポキシ樹脂+曲がりボルト+鉄筋継手）では、一体であると仮定した計算値との比がそれぞれ96, 97% となっており、エポキシ樹脂、曲がりボルトによる接続のみでは型枠相互の一体性を確保することは困難であり、鉄筋による補強が必要との結果が得られた。

図-11は各試験体の荷重たわみ曲線を示したものである。これによると、一体打設した試験体とプレキャスト型枠内の鉄筋を接合した試験体では、ほぼ同様の性状が示されている。これに対し、型枠内の鉄筋を直接接合していない試験体（No. 5～No. 7）

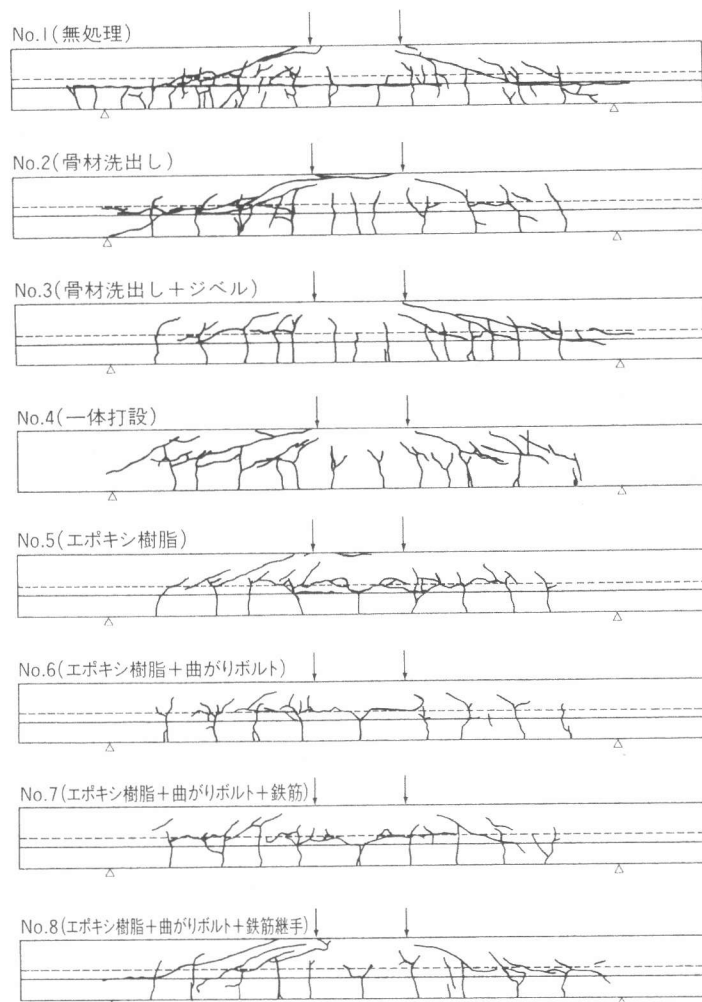


図-10 ひびわれスケッチ図

表-6 ひびわれ発生状況

供試体 NO.	荷 重 (tonf)	本 数 (本)	ひびわれ幅(mm)		
			合 計	最 大	平 均
1	10	14	0.79	0.15	0.06
	20	16	2.47	0.45	0.15
	30	16	4.83	0.80	0.30
2	10	9	0.80	0.15	0.09
	20	11	1.86	0.35	0.17
	30	11	4.86	0.90	0.44
3	10	9	0.93	0.25	0.10
	20	12	2.01	0.45	0.17
	30	13	4.66	0.85	0.36
4	10	9	0.62	0.10	0.07
	20	12	1.79	0.35	0.15
	30	12	3.75	0.80	0.31
5	10	9	0.82	0.50	0.09
	20	9	2.87	1.70	0.32
6	10	9	0.86	0.40	0.10
	20	10	2.73	1.50	0.27
7	10	8	0.77	0.25	0.10
	20	9	2.44	1.20	0.27
8	10	10	0.58	0.10	0.06
	20	11	1.77	0.45	0.16

では、エポキシ樹脂のみによる接合に比べると、曲がりボルト、型枠上への鉄筋配置によって曲げ剛性は若干増加するが、いずれの試験体でも一体打設の場合より同一荷重でのたわみが大きくなった。一体打設した試験体とプレキャスト型枠内の鉄筋を接合した試験体で、ほぼ同様の性状を示すことは、図-12の荷重-コンクリートひずみ曲線（スパン中央圧縮縁）及び鉄筋のひずみ測定結果においても確かめられた。

ひびわれ発生状況は、図-10及び表-6に示したとおりである。

試験体No.5～No.7はNo.4と比較して、各荷重段階でのひびわれ本数が少なく、型枠接合部のひびわれ幅が大きくなったのに対し、No.8ではNo.4とほぼ同数のひびわれ本数であり、接合部のひびわれ幅もNo.4試験体と同程度の結果であった。

以上の結果は、プレキャスト型枠相互の接合部での一体性の確保及びひびわれ幅の制御するには、型枠内の鉄筋を接続する必要があることを示していると思われる。

なお、最終的な試験体の破壊は、いずれもコンクリートの圧縮破壊であった。

4. おわりに

今回の試験により、プレキャスト型枠と本体コンクリートとの一体性を確保する方法としては骨材の洗いだしのみでもある程度の一体性は保てるが、施工での品質の変動を考慮すると、安全性の観点からジベル筋の設置など、機械的なせん断抵抗手段を取ることが望まれること、プレキャスト型枠相互の接続としては、既往の種々の研究でも示されているとおり、型枠内の鉄筋を接合することが望ましいこと、などが確かめられた。プレキャスト型枠の利用は、本体構造物の構造形式によっては有効な施工方法であり、また、将来の施工の合理化（省力化、機械化）にとっても重要な技術と考えられる。今回の試験のような短期的な一体性の検討に加え、長期での挙動（本体コンクリートの体積変化に対する追従、クリープ・乾燥収縮の影響、接合材料の長期耐久性など）の把握が、今後必要と考えられる。

＜ 参 考 文 献 ＞

- 1) 万木ら：ビニロン短繊維補強軽量コンクリートの埋設型枠への適用に関する研究，鹿島技術研究所年報，第39号，pp.27-38，1991.10
- 2) 道路橋示方書耐震設計編（参考資料），（社）日本道路協会，平成2年

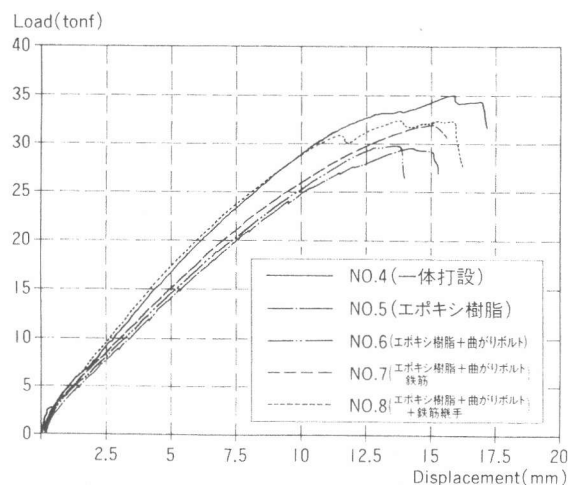


図-11 荷重たわみ曲線（型枠接合試験）

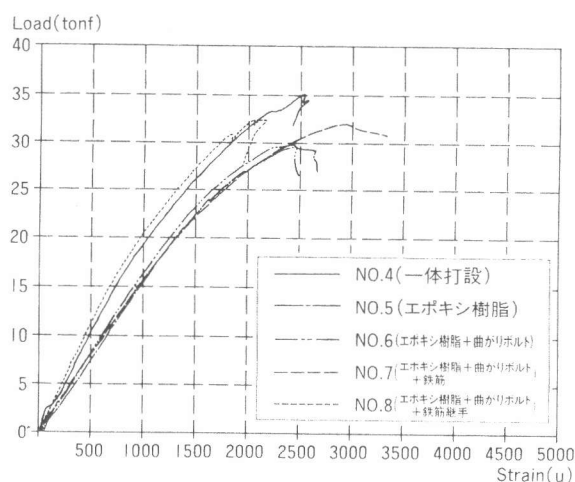


図-12 荷重ひずみ関係（型枠接合試験）