

論文

[1020] 薄肉PCa 折り曲げ型枠工法の開発

正会員 ○小柳光生 (大林組技術研究所)

小川晴果 (大林組技術研究所)

田村悦徳 (大林組工務部)

岡本秀雄 (大林組工務部)

1. はじめに

コンクリート工事の省力化を図る目的で、現場での型枠材の加工、組立ておよび解体作業を極力減らす工法の一つとして、『薄肉PCa 折り曲げ型枠』を開発し、実用化を試みたので、紹介する。ここでは、梁用型枠としての要求性能を満足するような仕様を確立するため、コンクリート側圧を模擬した型枠の性能比較試験を行ない、工法の最適な仕様を選定した。また、建築工事現場に適用し、省力化工法としての有効性を確認した。この時、コンクリート打込み時の歪計測やひび割れなどの目視調査を行ない、安全性についても検討した。

なおこの工法は、合板ベニヤを使用しないため、熱帯雨林破壊と指摘されている問題解決や現場での廃材対策にも有効と思われる。

2. 折り曲げ型枠工法の概要

折り曲げ型枠とは、平な振動台ベッド上に打込んだ高曲げ強度モルタル板を折り曲げることで形成されるコンクリート用永久型枠のことである。任意の位置で折り曲げ一体化が可能であるため、単なる平板ではなく、立体的な型枠となる上、寸法を自由に選定できる特長をもつ。

当面、梁用型枠を対象に研究開発しており、側圧に対して、モルタル中に埋込んだセパレータで補強、保持させる簡便法を基本とする。なお、コーナー部は特殊な補強材(塩ビ系樹脂高強度PVC 蝶番)を施している。この補強仕様を選定するまでの比較実験内容は、次章で述べる。

曲げ強度モルタルは、薄肉曲げ部材において、初期ひび割れ曲げ強度を 80kgf/cm^2 以上、最大

表-1 モルタル調合表 (1m³当りの重量kg)

水結合材比 (%)	単位水量	セメント	骨材	混和材	液状混和剤	短繊維	高性能減水剤
25	250	900	1000	100	20	26	40

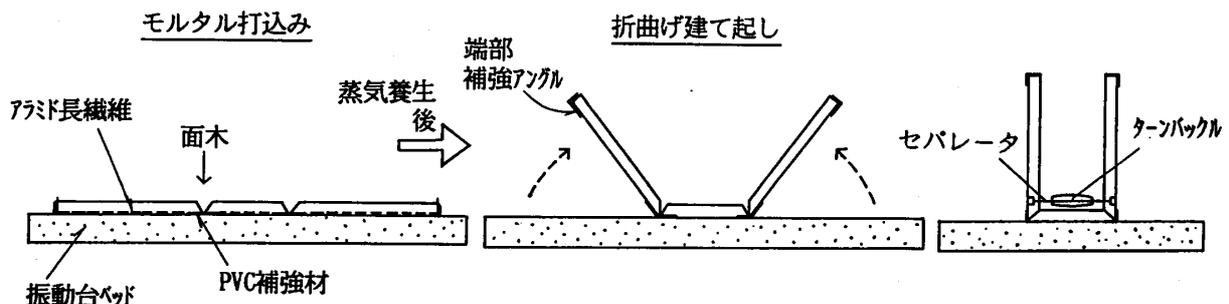


図-1 折り曲げ工法による梁型枠製造方法

曲げ強度 120kgf/cm^2 以上を目標とし、アラミド三軸メッシュおよびビニロン短繊維を補強材として使用している。調査表を表-1に示す。養生方法は、初期蒸気促進養生（ $40^\circ\text{C}-5\text{hr}$ ）を行った後、気中養生とする。

3. 梁用側圧模擬加力実験

3.1 試験概要

梁型枠として、折り曲げ型枠を使用する場合、打込み時の側圧に対する検討が必要になる。適切な組立て保持方法やコーナー部処理方法の選定を目的として、側圧を模擬し、加力試験を実施した。加力試験は、U形に吊り上げた状態で、鉛直用の重り（約 15kg のインゴット 使用）を載荷し、かつ水平方向にジャッキ（2機使用）で加力する方法を用いた。梁PCa型枠に作用する鉛直荷重は、支保工で受けるものの大引と大引の間の自重を直接梁PCa型枠で受ける可能性もある（図-2参照）ため、梁自重の約 $1/2$ （ 230kg ）を予め載荷しておき、水平荷重は単載荷で破壊まで加力した。折曲げ型枠試験体の形状と加力状況を図-3に示す。なお鉛直荷重は、試験体高さ 80cm 、幅 40cm 、長さ 80cm および厚 2.5cm であり、型枠の組立て方法、コーナー部処理方法として、セパレ

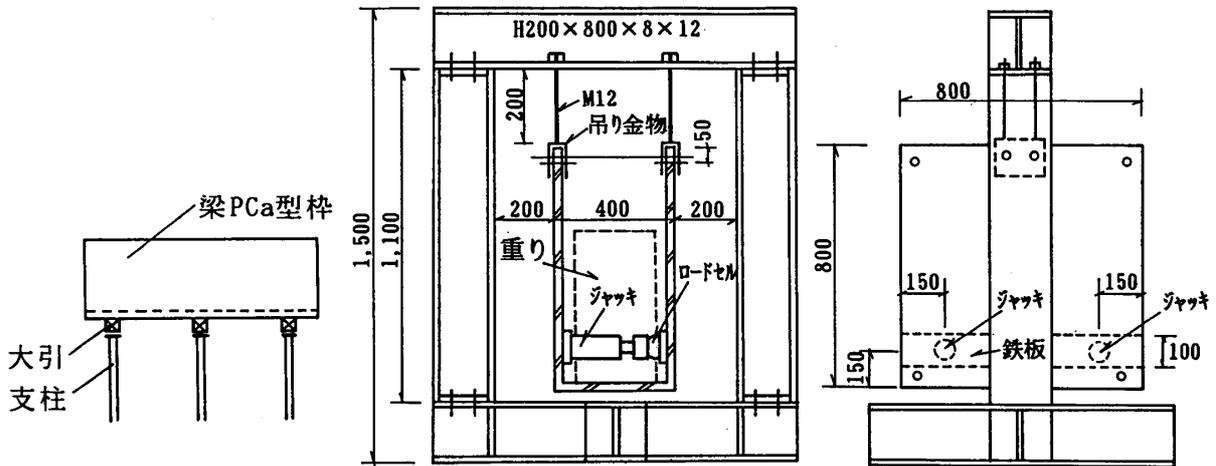


図-2 梁支保工想定図

図-3 試験体の形状と加力状況

ータの有無、コーナー部接着や補強材の有無をパラメータにした6要因（図-4）を計画する。なおコーナー材のタイプは、No.2とNo.6では多少異なり、No.6はNo.2の改良品である。

また、梁型枠上部の結束は、図-3のように貫通孔に外締めする方法を採用した。

今回の梁寸法の打込み時側圧は梁底で最大 1.78t/m^2 程度が予想される。そのため、試験体へ作用する全荷重は 0.55ton と想定されるが、この荷重の2~3倍を確保で

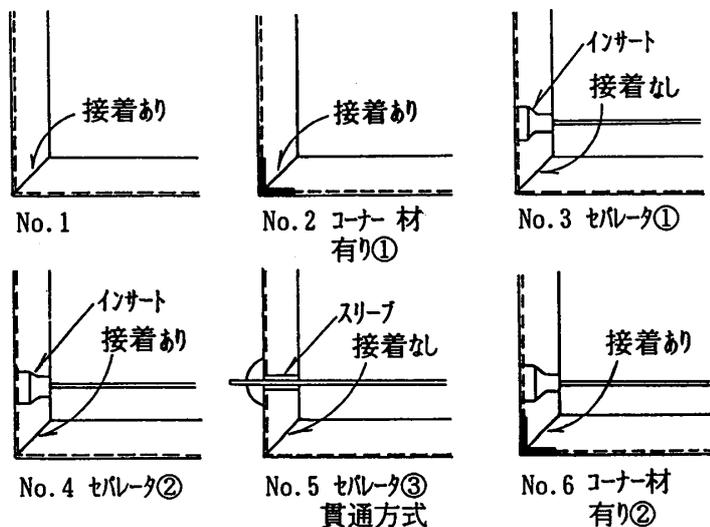


図-4 試験体要因の組合わせ

きる補強方法をひとつの目安とする。

3.2 試験結果

モルタル曲げ強度試験結果を表-2に、その応力と変形例を図-5に示す。当初の目標通り、ひび割れ強度80kgf/cm²以上、最大強度120kgf/cm²以上を満足している。

表-2 モルタル曲げ強度試験結果

形状	200×25×1000		40×40×160
	ひび割れ強度 (kgf/cm ²)	最大強度 (kgf/cm ²)	最大強度 (kgf/cm ²)
材令			
2週	99	141	—
4週	86	141	195

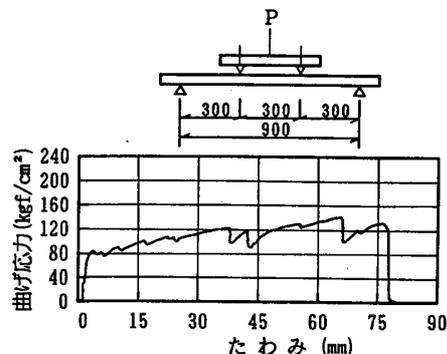


図-5 曲げ応力とたわみ変形例

側圧加力試験は、材令4週前後で実施した。側圧模擬加力試験結果の一覧を表-3に示す。各試験体の荷重とはらみ変形測定結果を図-6～図-10に示す。また、代表的な試験体のひび割れ状況を図-11に示す。なお、ふくれ変形は、側板加力点位置の開きを変位計から測定した。

加力試験結果を以下に箇条書きする。

- 初期ひび割れ耐力、最大耐力の面から判断して、No.6シリーズすなわちインサート方式のセパレータ有りで、コーナー部に補強材および樹脂接着を施したタイプが最も優れていた。次にNo.4, No.3シリーズが良好であった。
- ひび割れ発生のおよそ全体的な傾向は、まず側面の加圧板位置より若干、上の位置に発生し、No.1, No.2の場合、底面のコーナー部付近にひび割れが発生し、破壊した。No.3～No.6のようにセパレータを有する場合、コーナー部にひび割れは生じなかった。また、加力初期のひび割れ幅は0.2～0.3mmであった。
- No.5シリーズは、初期変形が大きく最大耐力もやや劣っていたが、これはコーナー部接着無しで、セパレータがワンタッチ外締め方式であり、緊結が不十分だったものと思われる。
- 側面表面ゲージの測定結果によると、ひび割れ直前の最大引張歪は 250×10^{-6} 程度であった。
- 以上の試験結果から、No.6の方法を標準仕様に採用することとし、実建物に適用する。

表-3 側圧模擬加力試験結果

試験体 No.	初期ひび割れ時		最大耐力時		試験体 No.	初期ひび割れ時		最大耐力時	
	荷重(kg)	平均値	荷重(kg)	平均値		荷重(kg)	平均値	荷重(kg)	平均値
1-1	620	570	910	885	4-1	819	969	1280	1240
1-2	521		860		4-2	1119		1200	
2-1	816	858	816	858	5-1	817	822	864	897
2-2	900		900		5-2	828		930	
3-1	882	916	1190	1112	6-1	925	1024	1744	1719
3-2	951		1034		6-2	1124		1694	

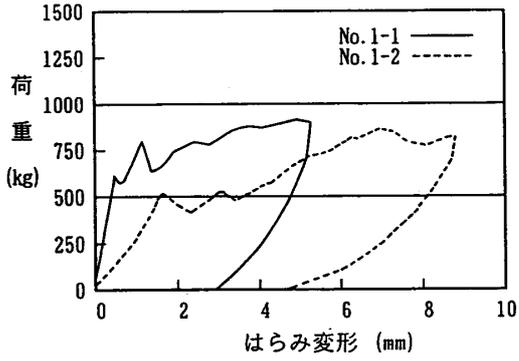


図-6 No.1 荷重と変形

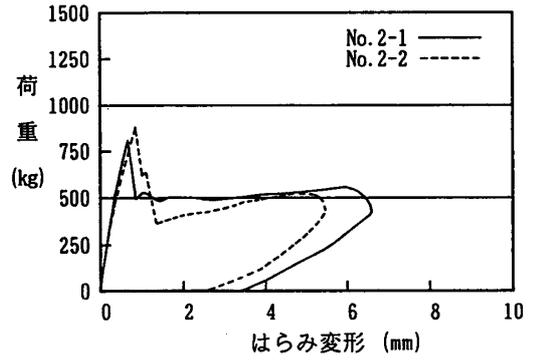


図-7 No.2 荷重と変形

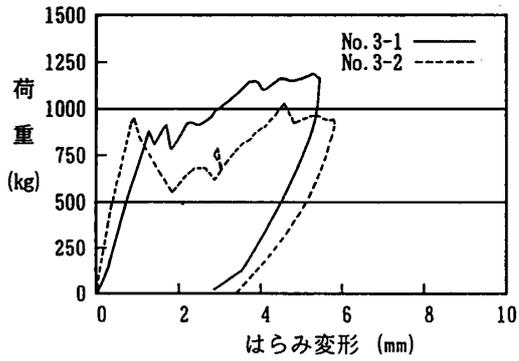


図-8 No.3 荷重と変形

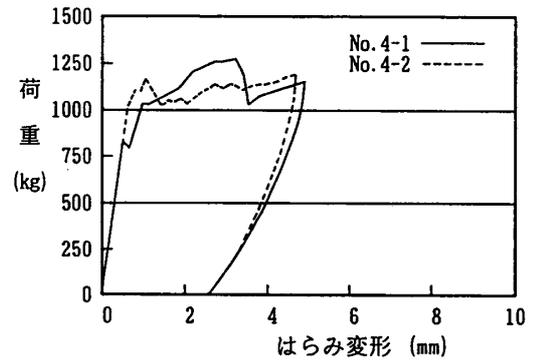


図-9 No.4 荷重と変形

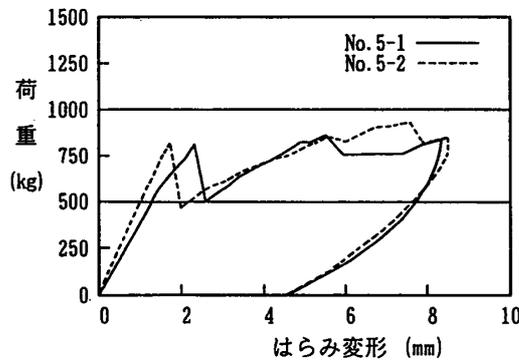


図-10 No.5 荷重と変形

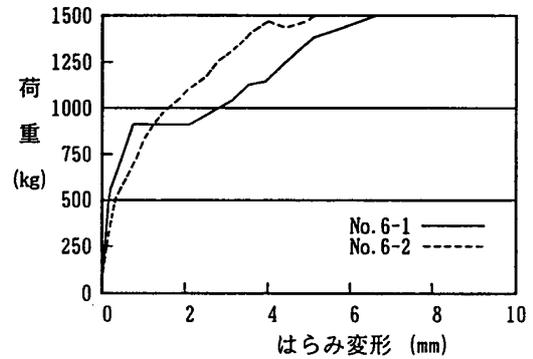


図-11 No.6 荷重と変形

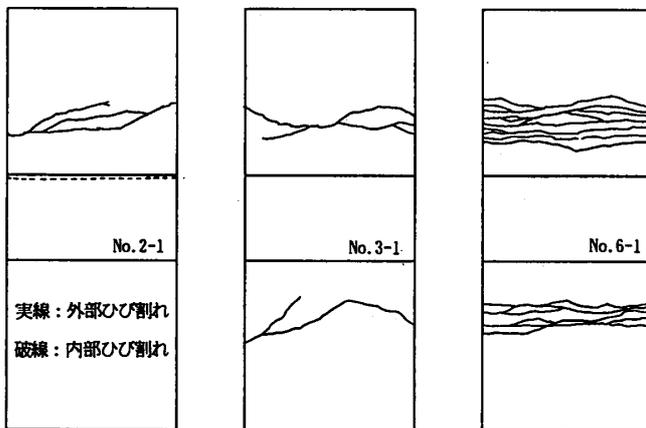
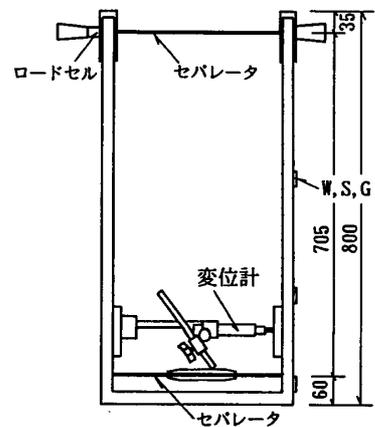


図-12 破壊後のひび割れスケッチ



〈計測方法〉

3.3 応力計算による検討

No.6の方法を採用するとして、その型枠設計式の目安を得るため、簡便な応力計算による検討を行う。板の支持条件を以下のようにセパレータ位置で単純支持と仮定する。

型枠の曲げ応力計算

$$\text{反力 } A = P \cdot b / \ell \quad B = P \cdot a / \ell \quad (\text{kg})$$

$$\text{最大曲げモーメント : } M = P \cdot a \cdot b / \ell \quad (\text{kg} \cdot \text{cm})$$

$$\text{最大曲げ応力 : } \sigma = M / Z = M / (1/6 \times 80 \times 2.5^2)$$

$$\text{たわみ : } \delta = P \cdot a \cdot b \cdot (a+2b) \sqrt{3a \cdot (a+2b)} / (27 \cdot E \cdot J \cdot \ell)$$

$$J = 80 \times 2.5^3 / 12 = 104.2 \text{ cm}^4, \quad E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

No.6の実験結果を参考に計算値と比較検討する。

①ひび割れ時曲げ応力： No.6のひび割れ荷重は平均で1024kgであるため、曲げ応力計算値 $\sigma = 96.5 \text{ kg/cm}^2$ となる。

一方、材料試験結果からひび割れ強度は 99 kgf/cm^2 (2週)、 86 kg/cm^2 (4週) であるため、ほぼ良く一致している。なお、ひび割れ強度は、4週の方がやや低くなっているが、これまでの一連の実験では、ひび割れ強度は長期材令で同等かむしろ若干大きくなる傾向にあるのが一般的である。今回の結果は、多分、試験誤差の影響を大きく受けたのではないと思われる。

②弾性時たわみ： 弾性範囲の $\delta = 7.33 \times 10^{-5} \cdot P$ (cm) の計算式に対して、初期変形の動きは良く一致している。以上の結果からセパレータ位置で単純支持と仮定して特に問題ないと思われる。

3.4 PCa型枠設計の考え方

打込み時の側圧荷重に対して、PCa型枠の曲げ応力計算値が曲げ許容応力度以下になるように設計する。この時、曲げ許容値は、 80 kgf/cm^2 とする。ただし、PCa板厚は25mmと一定とするため、梁せいの違いによる荷重の違いに対しては、基本的にセパレータの間隔や本数で調整する。

梁せい方向の一方向板と考え、セパレータ間隔をスパンとした単純支持と仮定する。また側圧荷重は、 $2.3 \text{ tf/m}^3 \times (\text{梁せい})$ で表される三角形分布荷重とする。

4. 実建物での計測結果

4.1 計測概要

折曲げ梁薄肉PCa型枠の実用化を図るため、実建物の梁部材に適用し、施工性や品質について調査した。ここでは打込み時のPCa部材の歪み挙動の計測結果を示す。なお、PCa部材はPCa工場にて製造し、現場に搬入した。

当該建物は、地下2階、地上3階のRC造で、建物長さ $68.4 \text{ m} \times 23.4 \text{ m}$ 、使用コンクリートは $F_c 240 \text{ kgf/cm}^2$ 、スランプ18cmである。梁全てに折曲げPCa型枠を使用した他、柱および壁もPCa型枠使用、床はフラットデッキ使用であり、在来合板型枠を一切用いず、型枠、鉄筋工事の省力化を試みた現場である。

歪み計測を行った地下1階平面図の一部を図-14に示す。大梁、小梁PCa型枠のせい方向セパレータ間隔は、型枠設計の考え方を考慮して、梁側面底面から4.5cm位置と上端位置の計2か所に設けた。打込み前後のひずみ挙動については、図-15に示すように表面ゲージを貼り付け、計測した。なお、梁底面以外に支保工を用いておらず、床スラブ自重(スラブ厚16.3cm)もこの梁型枠側面上端部にて固定、支持する工法であり、かなりの省力化が図られている。

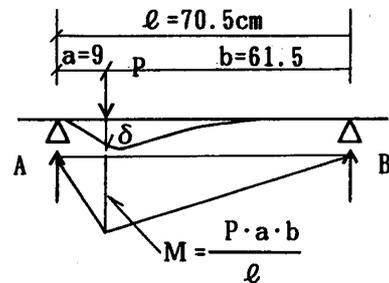


図-13 計算モデル

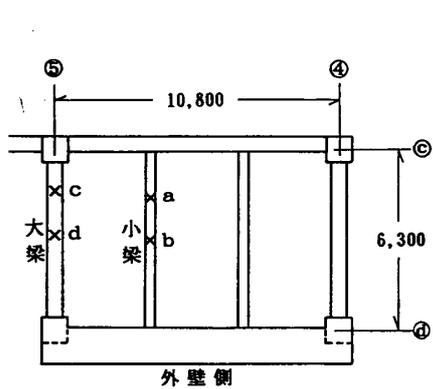


図-14 平面図の一部

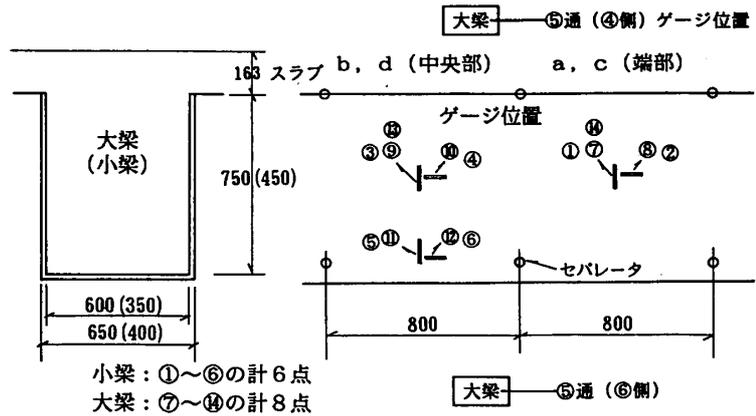


図-15 梁PCa型枠表面ゲージ取付位置

4.2 計測結果

打込み完了後のひび割れを観察した結果、0.2mm以上の目立つひび割れは、見当たらず、組立上の異常も無いことを確認した。計測結果を図-16, 17に示す。大梁型枠で歪みが大きいと思われる位置(⑦, ⑨, ⑬, ⑭)で最大 $100 \sim 200 \times 10^{-6}$ という値を示した。これまでの材料試験から、曲げ弾性係数は $E_s = 2.8 \sim 3.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、ひび割れ発生歪みは $250 \sim 300 \times 10^{-6}$ と考えられるので、今回のPCa型枠に作用する荷重は、ひび割れ荷重以下と判定される。破壊最大荷重は、さらに数10%大きいことを考慮すると今回の仕様で構造上問題ないことが確認された。

なお、小梁型枠の場合、最大 70×10^{-6} と小さい値であった。

大梁型枠について、側圧における最大応力計算値を試算してみると、コンクリート打上がり位置がスラブ下端の状態の時、曲げ応力 $\sigma_1 = 60 \text{ kgf/cm}^2$ 、スラブ上端の時、 $\sigma_2 = 73 \text{ kgf/cm}^2$ となり、ひずみに換算するとそれぞれ 200×10^{-6} 、 250×10^{-6} 程度と考えられる。図-16の実測結果はおおよそこの計算値の0.5~0.7に相当する。

5. まとめ

型枠工の省力化工法のひとつとして、薄肉PCa折り曲げ型枠の開発研究を行い、梁型枠として実用化することが出来た。ここでは側圧模擬試験から適切な型枠補強保持方式を選定することとし、計算式を提案している。さらに、施工中の某建物の梁型枠として全面的に適用した結果、合理的な工法であることを確認した。

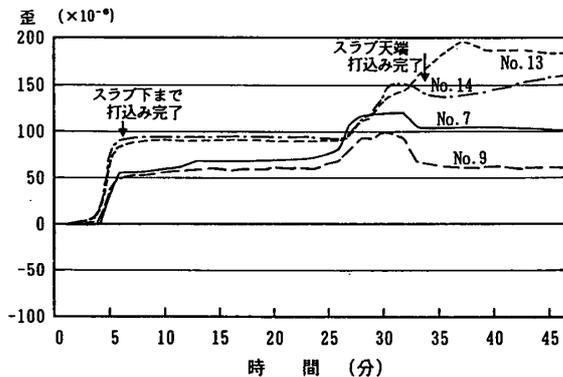


図-16 表面歪計測結果 (大梁)

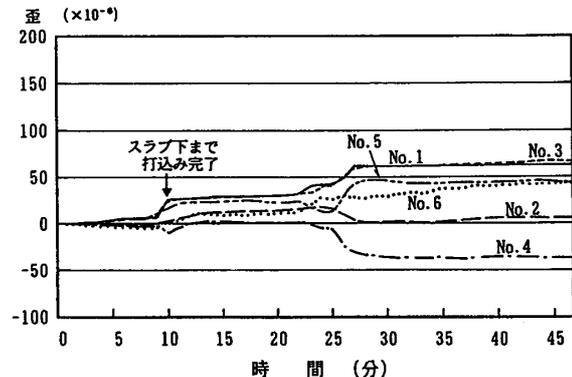


図-17 表面歪計測結果 (小梁)