

打込み型枠「オリフォーム」工法の開発

小柳光生 小川晴果 久保田昌吾 中根 淳
青山 幹 脇坂達也 古屋則之

Development of Permanent Form, “ORI-FORM”

Mitsuo Koyanagi Haruka Ogawa Shogo Kubota Sunao Nakane
Tsuyoshi Aoyama Tatsuya Wakisaka Noriyuki Furuya

Abstract

A Permanent form, “ORI-FORM”, was developed for labor saving and experimental studies were carried out aiming for practical use for beams. This form is made with high flexural-strength mortar cast on a flat bed equipped with table vibrators, and after hardening, the mortar is bent into a three-dimensional form. Specifications as an appropriate form material were selected based on performance tests simulating lateral pressure of concrete during placement. The safety and utility of the form were ascertained by full-fledged use on an actual building project measuring stresses acting on sheathing during placement of concrete.

概要

省力化を目的として、打込み型枠「オリフォーム」工法を開発し、梁型枠への実用化を図るための実験研究を行った。この工法は、平らな振動台ベッドに、高曲げ強度モルタルを打込み、硬化後に折り曲げて立体的な型枠を形成するものである。梁のコンクリート側圧を模擬した型枠の性能試験などから、適切な型枠材としての仕様を選定した。また、実際の建物現場に全面適用し、打込み時の板に作用する応力計測を行い、その安全性と合理性を確認した。

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、打込み型枠工法「オリフォーム」を開発して、実用化を試みたので紹介する。この工法は、合板ベニヤを使用しないため、熱帯雨林破壊への問題解決や現場での廃材対策にも有効と思われる。

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に、側圧を模擬した型枠の性能比較試験やモルタル調合に関する要因別の試験を行い、最適な仕様を検討した。

また実際の建築工事にも適用し、安全性や有効性の確認を行った。

2. 本工法の概要

2.1 折り曲げ機構

この「オリフォーム」工法は、平らな振動台ベッド上に打込んだ高強度モルタル板（厚さ 25 mm 程度）を硬化後に、コの字型や四角形に折り曲げて立体的な型枠を形成するものである。

なお、コーナー部は、あらかじめ、所定の位置に面木による欠き込みを設けておき、折り曲げるために、この部分での補強を必要とすることから、クラレと共同で開発した柔軟で、高強度の特殊樹脂製コーナー補強材（塩ビ系高強度 PVC 蝶番）で連結している。

2.2 モルタル板の製造方法

使用するモルタルは、水結合材比が小さく、高曲げ強度で収縮が少ない特性が要求される。標準的な調合表を表-1に示す。またひび割れ対策として、ビニロン短繊維をモルタルに混入し、板の引張側表面には、曲げ耐力の増大、折り曲げ部やひび割れ箇所の破断防止を目的としてアラミド長繊維（三軸メッシュ）を敷込んでいる。

現時点での目標品質は、曲げ部材レベルで、初期ひび割れ強度 80 kgf/cm² 以上、最大曲げ強度 120 kgf/cm² 以上を想定している。

養生方法は、シート覆いによる蒸気促進養生（40℃-6 hr）を行った後、材令1日以降、気中養生とする。

2.3 型枠としての基本的な考え

当面、構造体の一部とはみなさず、型枠扱いとする。そのため軽量化などの面から、極力薄い方が望ましく、厚さはせいぜい 20~25 mm 以下に抑えたいということ

表-1 標準的なモルタル調合表

水結合材比 (%)	単位水量	セメント	骨材	混和材	収縮低減剤	(1m ³ 当りの重量kg)	
						短繊維	高性能減水剤
25	250	900	1,000	100	20	26	40

表-2 モルタル曲げ強度試験結果

形状	200×25×1,000		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	—
材令 4週	86	141	195

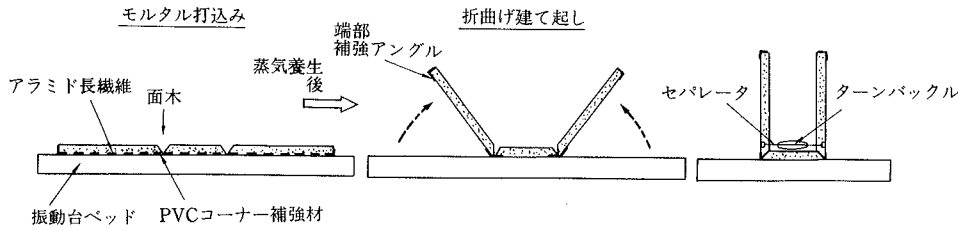


図-1 折り曲げ工法による梁型枠製造方法

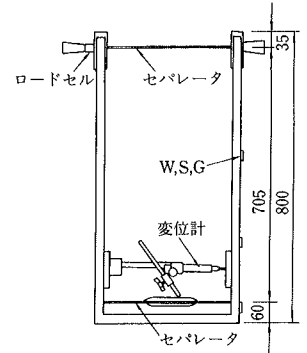


図-3 計測方法

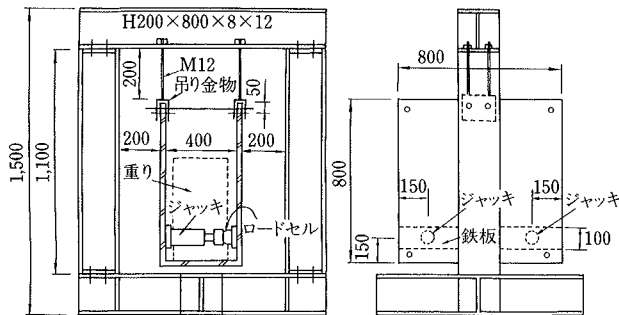


図-2 試験体の形状と加力状況

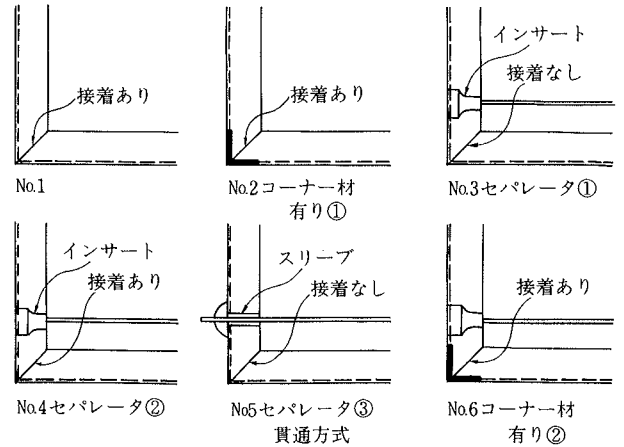


図-4 試験体要因の組合わせ

で、ここでは 25 mm に設定している。

型枠の適用部位は、梁部材を対象にする。これは、柱や壁に比べて梁の側圧が小さいため、型枠設計の面で上記の型枠厚 25 mm で対応することが可能であること、梁型枠材は、種々の形状をもち、小梁との取り合いによる開口部など複雑であるが、本工法は、平板で製造した後折曲げて組立てるため、このような多様な形状に対応できるという特長を有することによる。

3. 側圧模擬加力試験

3.1 試験概要

「オリフォーム」を梁型枠として使用する場合、打込み時の側圧に対する検討が必要となる。適切な組立て保持方法の選定を目的として、打込み時の側圧を模擬し、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、鉛直荷重用の重り（梁自重の約 1/2=230 kgf）を載荷したままで水平方向にジャッキ（2機使用）をセットし、単調荷重で破壊時まで加力した。加力状況を図-2 に示す。試験体形状は高さ 80 cm、幅 40 cm、長さ 80 cm、厚 2.5 cm である。加力点位置でのはらみ変形の測定方法を図-3 に示す。

型枠組立て保持法の種類として、下セパレータの有無（上セパレータは共通使用）、コーナー部接着有無やコー

ナー補強材の有無をパラメータにした図-4 に示す 6 要因を選定した。なお No. 2 と No. 6 試験体は、コーナー補強材を使用しているが、その仕様は、No. 2 の場合は硬質タイプで、No. 6 の場合は軟質タイプとした。また試験体数は、それぞれ 2 体とする。

3.2 試験結果

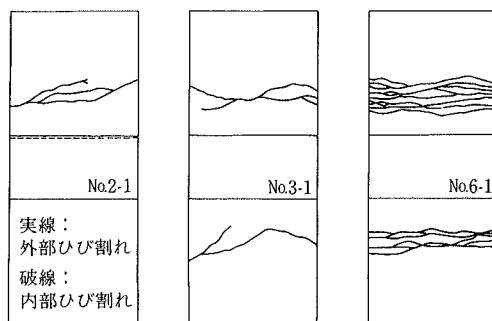
モルタル板の曲げ試験結果を表-2 に示す。当初の目標通り、曲げ強度（ひび割れ時 80 kgf/cm²、最大 120 kgf/cm²）を満足している。

側圧模擬加力試験は、材令 4 週前後に実施した。試験結果の一覧を表-3 に示す。また、加力点位置での荷重-はらみ変形測定結果を図-5～10 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。No. 2 の硬質タイプの補強材は折り曲げ時に割れを生じてしまい、有効性が認められなかった。No. 6 の場合、コーナー補強材も割れずモルタル板のひび割れ分散性が高かった。

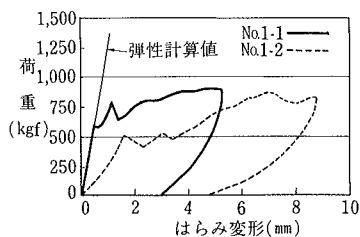
初期ひび割れ耐力、最大耐力の面から判断して、No. 6 タイプが最も優れており、基本仕様としては、この No. 6

表一三 側圧模擬加力試験結果

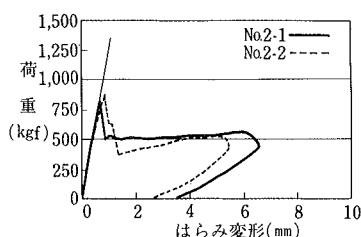
試験体 No.	初期ひび割れ時		最大耐力時	
	荷重(kgf)	平均値	荷重(kgf)	平均値
1-1	620	570	910	885
1-2	521		860	
2-1	816	858	816	858
2-2	900		900	
3-1	882	916	1,190	1,112
3-2	951		1,034	
4-1	819	969	1,280	1,240
4-2	1,119		1,200	
5-1	817	822	864	897
5-2	828		930	
6-1	925	1,024	1,744	1,719
6-2	1,124		1,694	



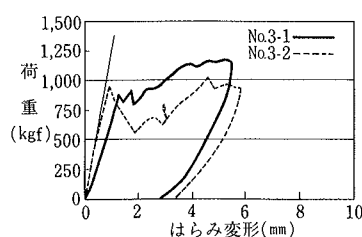
図一11 破壊後のひび割れスケッチ展開図



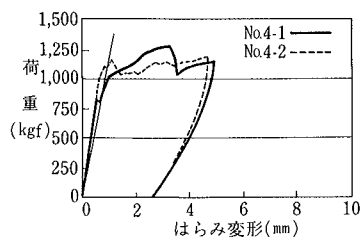
図一5 No. 1 荷重と変形



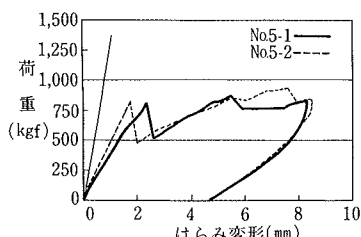
図一6 No. 2 荷重と変形



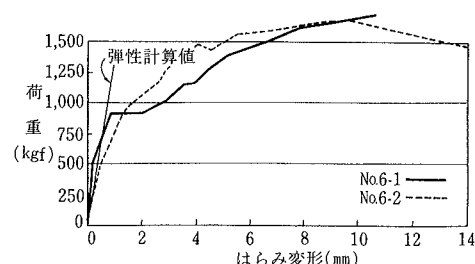
図一7 No. 3 荷重と変形



図一8 No. 4 荷重と変形



図一9 No. 5 荷重と変形



図一10 No. 6 荷重と変形

タイプを採用することとした。

今回の梁寸法の打込み時側圧計算値は、液圧とみなした全荷重として0.55 tfとなる。一方、No. 6タイプの場合の最大耐力はこの計算値の3倍程度を有することが確認されており、使用上、特に問題ないと判断した。

3.3 応力計算による検討

板の支持条件をセパレータ位置で単純支持と仮定すると、No. 6の場合、ひび割れ荷重は1,024 kgf (平均)でありこの時の曲げ応力計算値は $\sigma = 96.5 \text{ kgf/cm}^2$ となる。

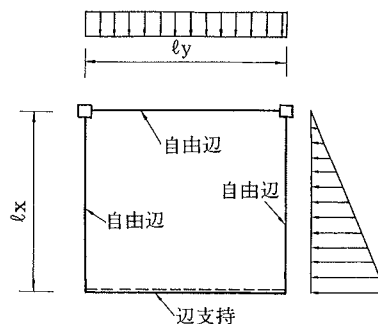
一方、材料試験結果からひび割れ強度は 86 kgf/cm^2 (4週)であるため、ほぼ良く一致している。

弾性時たわみを計算値 (図一5～10中に記す) と比較したところ、初期変形の動きは良く一致した。

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。

3.4 PCa 型枠設計の考え方

- ① 打込み時の側圧に対する曲げ許容応力度：80



図一12 応力解析上の板モデル

kgf/cm²

- ② PCa 板厚は25 mm (一定) とし、梁せいに応じてセパレータの間隔や本数で調整する。

- ③ セパレータ間隔をスパンとした単純支持と仮定する。具体的な板の応力解析のモデル化は、図一12のように梁上セパレータ位置を点支持、下セパレータ位置を辺

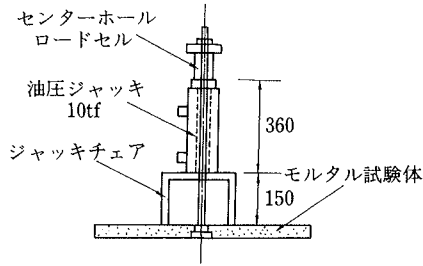


図-13 加力試験方法

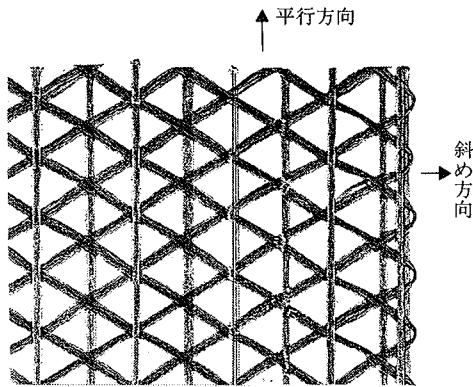


図-14 アラミド繊維のメッシュ

支持，その他三辺を自由とする。このモデル板が三角形等変分布荷重を受ける時の算定図を利用する。

3.5 インサート金物の引抜き耐力試験

セパレータ用インサート金物 (RZ：ねじ径 W5/16) の引抜き耐力を把握するために，図-13のようにジャッキチェアを用いて，同一調合モルタル板での試験を材令3週にて行った。その結果，引抜き耐力は910～1,010 kgf/本を示し，平均960 kgf/本（計3本）であった。

安全率1.5倍程度を見込み，許容引き抜き応力度は600 kgf/本に設定した。

4. 硬化後のモルタル性状に及ぼす各種要因の検討

4.1 初期養生温度と繊維方向性の強度への影響

所定の促進養生終了後，養生条件を変えて曲げ強度試験を行った。また，長繊維（アラミド繊維）の敷込み方向の違いによる異方性の検討も合わせて行った。試験上の要因を表-4に示す。なお，使用するアラミド繊維三軸メッシュの仕様は，帝人製で目付56 g/m²，目開き10 mmであり，そのメッシュ模様を図-14に示す。

試験材令（1日，1週，4週）毎の曲げ強度試験結果（平均値）を図-15に示す。なお，試験体寸法は，70×10×2.5 cmであり，加力方法は，図-16に示す2点荷重とした。

この結果から，以下のことが分かった。

- ① 材令の経過とともに，曲げ強度は増大の傾向にある。
- ② 養生温度10°Cの場合，ひび割れ強度の伸びが若干小さい傾向にある。
- ③ 繊維の敷込み方向による板の異方性は認められない。

表-4 曲げ強度試験の要因

試験体記号	要因	
	敷込み方向*	養生条件
No.1	平行方向敷込み	20°C；気中養生
No.2	斜め方向敷込み	20°C；気中養生
No.3	平行方向敷込み	10°C；気中養生
No.4	斜め方向敷込み	10°C；気中養生

* 図-14参照

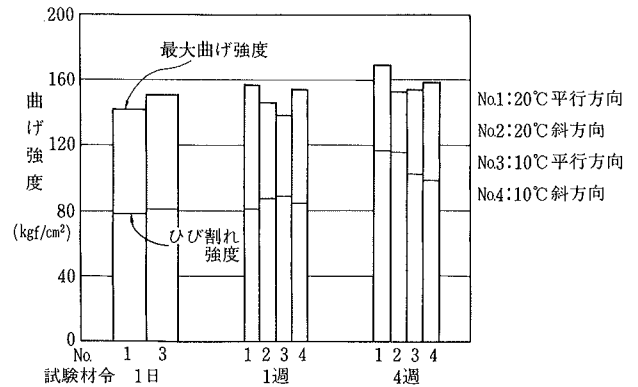


図-15 養生と長繊維方向を要因とした曲げ強度

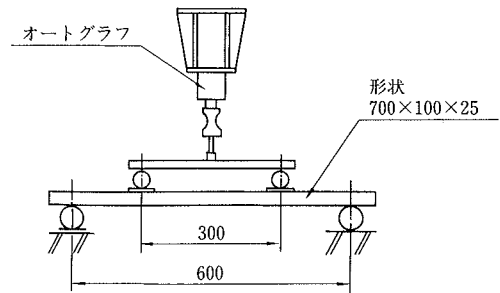


図-16 曲げ加力試験の状況

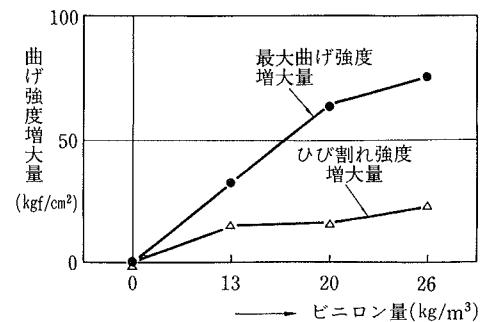


図-17 曲げ強度に及ぼす短繊維の影響

4.2 ビニロン短繊維が強度に及ぼす影響

使用するビニロン繊維の仕様は，クラレ製で，繊維長30 mm（比重1.3）である。ビニロン短繊維量を0，13，20，26 kg/m³（標準；容積比2％）の4水準に変化させ，曲げ強度に及ぼす影響を検討した。試験体寸法は，4.1節と同じである。試験結果を材令4週について図-17に示す。

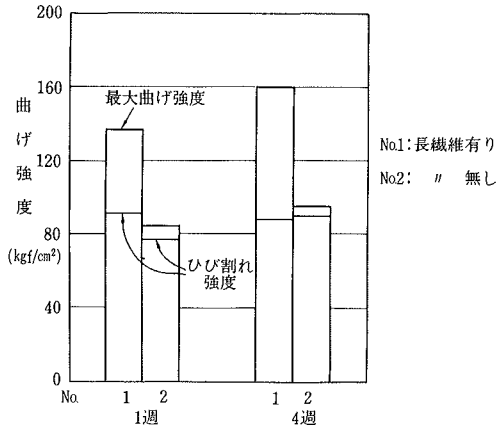


図-18 アラミド長繊維を要因とした曲げ強度試験結果

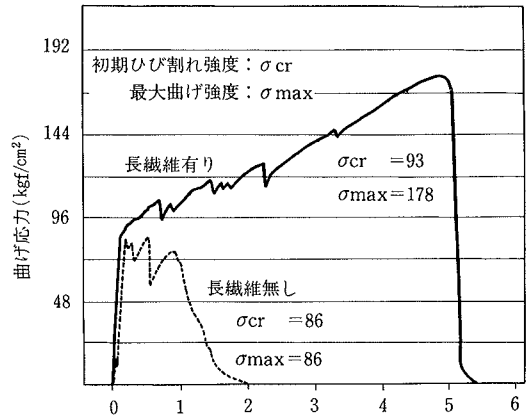


図-19 曲げ強度試験結果

短繊維量の増加に伴い、ひび割れ強度、最大曲げ強度ともに増大するが、特に、最大曲げ強度の増加は 75 kgf/cm² (短繊維量ゼロとの比) と大きい。このことは、ひび割れ発生後も短繊維が補強材として有効に作用することを示している。

4.3 アラミド長繊維が強度に及ぼす影響

アラミド長繊維の有無による曲げ強度への影響を検討した。試験結果を材令 1 週、4 週について図-18 に示す。

この図から、長繊維の有無によって、ひび割れ強度は殆ど変化しないが、最大曲げ強度は、長繊維が無しの場合、かなり低下しており、この低下量は 65 kgf/cm² (4 週) と大きい。このことは、ひび割れ後、アラミド長繊維が補強材として有効に作用することを示す。

参考に、曲げ強度と中央たわみの関係を標準タイプと比較して図-19 に示す。長繊維有りの場合、ひび割れ分散効果が大きく、その後も強度増加が認められる一方、長繊維無しの場合、ひび割れ発生後の靱性が小さく問題がある。ここでは、アラミド繊維を特に樹脂などで固めずに原糸に近い状態で使用しているが、このアラミド繊維の原糸は、モルタルとの付着特性が優れていることが報告¹⁾されており、この特性が有効に作用しているものといえよう。

4.4 最大曲げ強度に関する解析的な検討

使用したアラミド長繊維素材の引張強度は、実験によると、幅 10 cm 当たり、450 kgf (平均) であった。仮に、アラミド長繊維を補強鉄筋とみなして、鉄筋コンクリートの曲げモーメント式に適用して試算してみると

$$M = 7/8 \times (t-c) \times p$$

t: 板厚 c: 長繊維のかぶり (3 mm と仮定)

p: 長繊維の引張強度

この曲げモーメントは、弾性曲げ応力に換算して 83 kgf/cm² 程度となった。言い換えるとアラミド長繊維だけを考慮した最大曲げ強度計算値は、83 kgf/cm² 程度であるといえる。一方、実際の最大曲げ強度は 120~130 kgf/cm² 以上を確保していることを考えると、この差は、ビニロン短繊維が、ひび割れ後の強度増大に寄与し

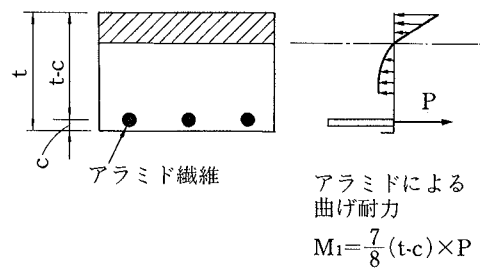


図-20 最大曲げ応力分布

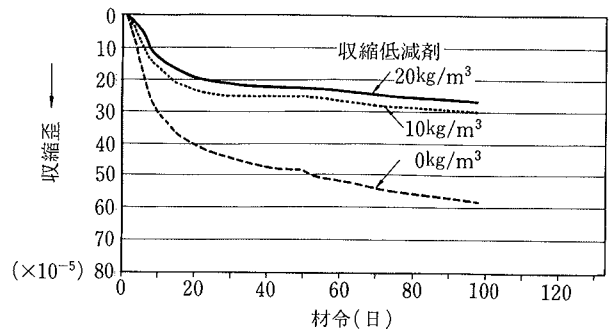


図-21 乾燥収縮歪み測定結果

ていることを示している。

4.5 収縮低減剤が乾燥収縮に及ぼす影響

モルタル板の乾燥収縮性状を把握し、収縮低減剤の効果調べるために、モルタル板 (厚 2.5 cm, 幅 10 cm, 長さ 70 cm) の乾燥収縮を測定した。標準調合をベースにして収縮低減剤を 20 kg/m³ (標準), 10 kg/m³, 0 kg/m³ の 3 要因に変えて恒温室 (20 °C, 60 % R. H) 内にて試験を行った。

測定結果を図-21 に示す。収縮低減剤を 10 kg/m³ 以上使用すると、収縮歪みをかなり抑えることが可能であり材令 4 か月で、約 300 × 10⁻⁶ であった。

5. 実建物への適用

5.1 計測概要

本工法の実用化を図るため、実建物の梁部材に適用して、施工性や品質について調査した。ここでは打込み時の PCa 部材のひずみ挙動の計測結果を示す。なお、PCa

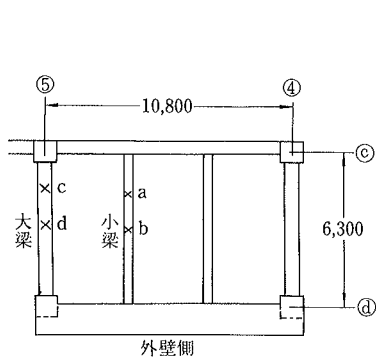


図-22 平面図の一部

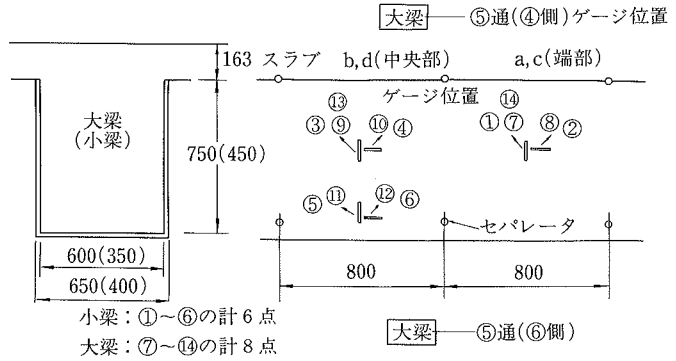


図-23 梁PCa型枠表面ゲージ取付位置

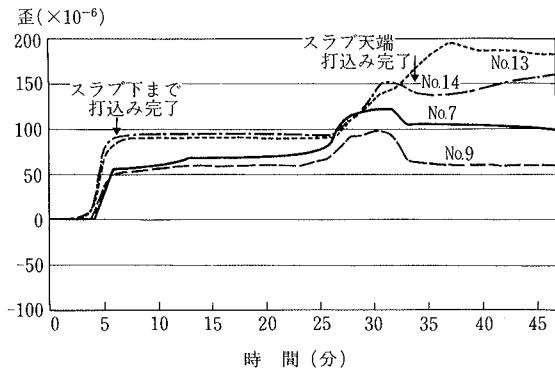


図-24 表面歪計測結果 (大梁)

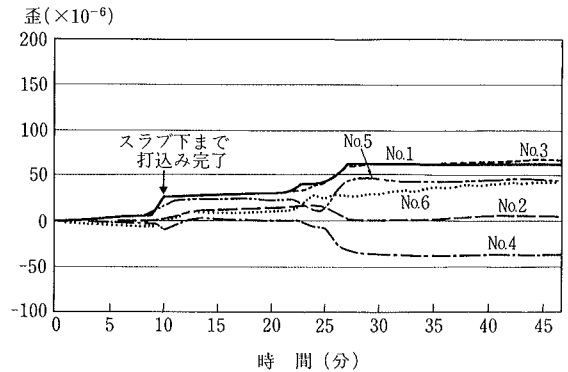


図-25 表面歪計測結果 (小梁)

材は工場にて製造し、組立てた後、現場に搬入した。

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

打込み前後の型枠歪み挙動を調べるため、図-22の梁伏せ図の梁型枠側面に、図-23のように表面ゲージを貼り、計測した。この時、上下方向セパレータ間隔は、梁底面から4.5 cm位置と上端(スラブ下端)の計2箇所に設けた。スパン方向セパレータ間隔は、80 cmピッチとした。なお、床スラブ自重(スラブ厚16.3 cm)もこの梁型枠上端にて支持させている。

5.2 計測結果

打込み完了後に、型枠面のひび割れを観察した結果、乾燥収縮による初期ひび割れ(幅0.1 mm前後)以外の新たなひび割れは、認められなかった。また、組立上の異常も無いことを確認した。

歪み計測結果を図-24, 25に示す。スラブ天端打込み直後に引張歪みは最大となり、 $100\sim 200 \times 10^{-6}$ 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 $E_s=2.8\sim 3.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、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。

大梁の側圧による最大応力計算値を試算すると、スラブ天端打込み直後で 73 kgf/cm^2 となり、歪み換算で

250×10^{-6} 程度と考えられる。図-24の実測結果はこの計算値の0.7~0.8に相当する。

破壊荷重は、ひび割れ荷重のさらに数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。

6. まとめ

型枠工事の省力化工法として、薄肉PCa型枠の開発を行い、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その性能を確認するとともに、施工中の某建物の梁型枠として適用し、合理的な工法であることを確認した。

謝辞

本研究は、「省力化構工法研究開発グループ」の研究開発の一環として行ったものであり、技術研究所、本社工務部が共同で実施した成果を取りまとめたものである。関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 野崎, 福沢, 田中, 堀口: 軸方向連続繊維モルタル板におけるガラス短繊維併用の引張性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, p. 1069~1074, (1992)
- 2) 小柳, 小川, 田村, 岡本: 薄肉PCa折曲げ型枠工法の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, p. 137~142, (1992)