

技術ノート

RCプレキャスト床版における
ループ状重ね継手の性能試験Ability and Durability for
a Lapped Loop Joint of RC Precast Slabs前 田 研 一*
Ken-ich MAEDA磯 光 夫**
Mitsuo ISO橘 吉 宏**
Yoshihiro TACHIBANA柳 澤 則 文**
Norifumi YANAGISAWA寺 本 耕 一**
Koichi TERAMOTO

キーワード

プレキャスト床版
ループ状継手
耐久性
合成桁斜張橋
仲良い橋

1. まえがき

橋梁床版の補修工事や工期に制約がある場合の急速施工を目的に、在来工法である現場打ち床版に代わる床版として、図-1に示す各種床版の開発が進められており、近年これらの床版の使用例が多くなってきている。

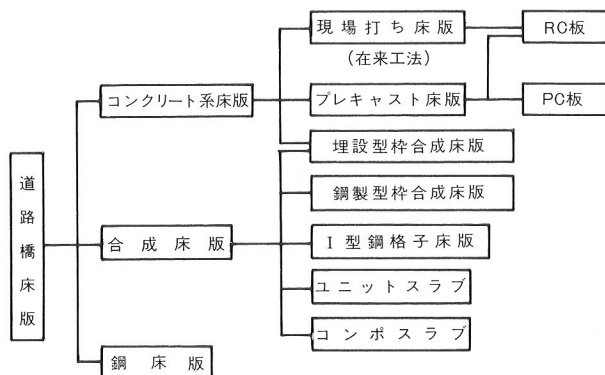


図-1 道路橋床版の分類

本技報の別稿で報告した合成桁斜張橋「仲良い橋」でも急速施工が要求され、上記床版のうち、プレキャスト床版が検討された。このプレキャスト床版の基本的な構造としてPC板とRC板が考えられるが、いずれの構造についても橋軸方向（配力鉄筋方向）の板相互の接合法が問題となる。この接合法として、プレストレスを与える方法と与えない方法が考えられ、PPCS工法やSBパネル工法、あるいはFREEシステムなど、わが国におけるプレキャスト床版施工工法ではプレストレスを与える方法が多く採用されている¹⁾。一方、合成桁斜張橋のような高次不静定構造物では、プレストレスを与えずに接合する方法

法は、床版接合のために与えるプレストレスのクリープ変形に伴う断面力の変化を考えなくてもよいこと、および施工管理の容易さなどから多くの利点を有しており、「仲良い橋」ではこの方法が採用された。この場合、鉄筋の継手構造として欧米ではループ状継手が多く採用されており、最近、合成桁斜張橋として脚光を浴びている Annasis 橋においてもこの継手構造が採用されている²⁾。

しかし、わが国においては、道路橋RC床版にループ状継手が採用された例はほとんどなく、また、継手構造に関する指針も整備されていないのが現状である。そこで実橋のプレキャスト床版施工に際し、事前に種々の実験を実施し、この継手構造の応力伝達性能と安全性、および使用限界状態に対する検討を行った。また、これらの検討に加えて、使用材料の耐久性を考慮し、ループ状継手の間詰め部材料についての検討も行った。

本文は、上述の合成桁斜張橋で用いたループ状継手を有するRCプレキャスト床版の概要と、種々の実験結果および検討結果について報告するものである。

2. プレキャスト床版概要

合成桁斜張橋「仲良い橋」に使用したループ状継手を有するプレキャスト床版の例を図-2～4に示し、以下にその概要を説明する。

(1) 版構造

ノンプレストレスで製作のRCプレキャスト床版であり、鉄筋の継手にはループ状鉄筋継手を使用。鉄筋継手のみ現場施工であり、またプレキャスト床版自体に横断勾配やハンチを付けることが可能であり、現場作業の大幅な省力化を図ることができる。なお、製作に当たり、

*川田工業㈱技術本部中央研究室室長 **川田工業㈱技術本部中央研究室

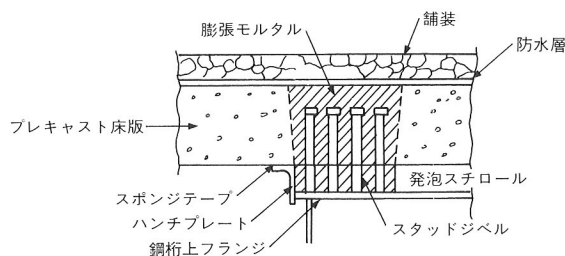


図-2 鋼桁との結合部

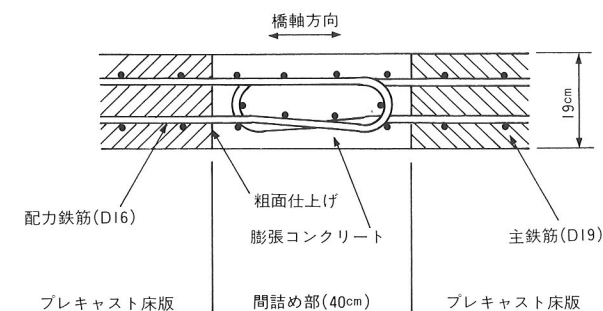


図-3 継手構造

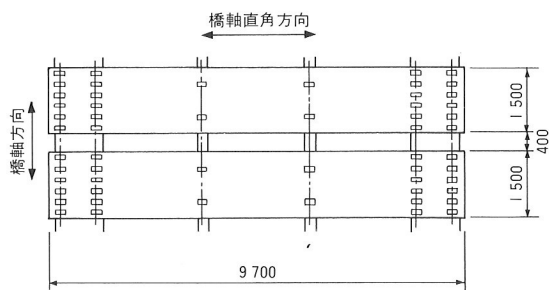


図-4 プレキャスト床版配置

RC構造であるために必ずしもプレストレストコンクリート工場を選定する必要はないが、製作精度およびコンクリート品質管理状況がそのまま橋梁本体の施工精度に影響するために、十分に信頼できる工場で製作する必要がある。

(2) 版と桁との結合

図-2, 4 に示すように、主桁ジベル部を箱抜きし、ジベルにより版と桁とを結合した。この間詰め材料として通常は無収縮モルタルが使用されるが、経済性を考慮しそれと同等の性能を有する材料として、膨張モルタルに減水剤を加え流動性を持たせたモルタルを使用した。

(3) 板相互の結合法

鉄筋の応力伝達は、ループ状継手により行う。図-3における鉄筋のループ形状は、「道路橋示方書」（以下「道示」と略す）に定められている鉄筋の最小曲げ半径、およびかぶりの最小厚を満足するように定めたものである。打継目部については、プレキャスト床版製作時に、遅延剤を型枠に散布した後、水で洗浄し粗面仕上げとすることにより、せん断伝達の確保を行った。また、間詰めコ

クリートは乾燥収縮を補償する目的で、膨張コンクリートとした。

(4) 型枠

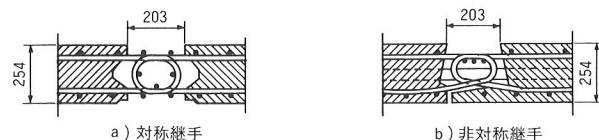
上述のように、継手部はコンクリートが現場打ちとなるために型枠を設置する必要がある。この型枠として吊り型枠を使用したが、プレキャスト床版製作時に、型枠設置用のインサートやあるいは埋設型枠用鋼板の設置などにより、型枠作業の省力化を図ることができる。

(5) ハンチ構造

ハンチとして図-2に示すように逆L形の鋼製ハンチプレートを使用した。ハンチプレートとプレキャスト床版接合面にはスポンジテープを使用し、床版と鋼桁の製作誤差に起因する不陸の吸収とモルタルの流出防止を図った。このハンチ構造として、プレキャスト床版自体にハンチを設ける構造も可能である。

3. 鉄筋継手応力伝達性能

重ね継手長さが短くなればなるほど、現場作業が少なくなり、プレキャスト床版を施工するうえで有利となる。このループ状継手の必要重ね合わせ長さについては、海外の各スペックにおいてこの継手の設計思想が統一されておらず、文献3)の記述に基づいた場合、ループの重ね合わせ長さをループの内側直径の1.5倍とすることも可能であり、図-5に示すように間詰め部を小さくした構造が実現する。

図-5 スイスにおける継手例¹⁾

一方，わが国の道示については，鉄筋の継手構造として「重ね継手」が規定されているが，前述のようにループ状継手は規定がないのが現状である。そこで，この継手構造を実橋に採用するに当たり，事前に継手構造の基本性能である応力伝達性能を把握することを目的とし，重ね合わせ長さを変化させた供試体を用いた静的な載荷試験を実施した。本章では，これらの実験結果についての報告を行う。

(1) 実験方法

斜張橋の主桁として用いる合成桁構造を対象とした場合、一般に中立軸は鋼桁部に位置するために、橋軸方向のプレキャスト床版に働く鉄筋応力は全鉄筋で圧縮または引張り応力となる。このような鉄筋の応力状態を擬したモデルとするために図-6に示すはり供試体を使用した。供試体は表-1に示すように、継手なしのもの、重ね合わせ長さが32 cm, 24 cm, 12 cmのもの、4タイプそれぞれ

れ3体を準備し、ループ状継手を有するものについては打継目も設けた。また、床版の主鉄筋には割裂、ひび割れを抑制する役割も期待していることから、図-6に示す鉛直方向に鉄筋(D19)を配置した。なお、使用した鉄筋はSD30であり、降伏強度4018 kg/cm²、コンクリートは載荷試験時で、圧縮強度486 kg/cm²、弾性係数 3.28×10^5 kg/cm²であった。

載荷は図-6に示す2点載荷で変位制御により行い、引張り応力状態における各供試体の応力伝達性能の相違が変形、ひび割れ、耐荷力などに及ぼす影響の把握を試みた。

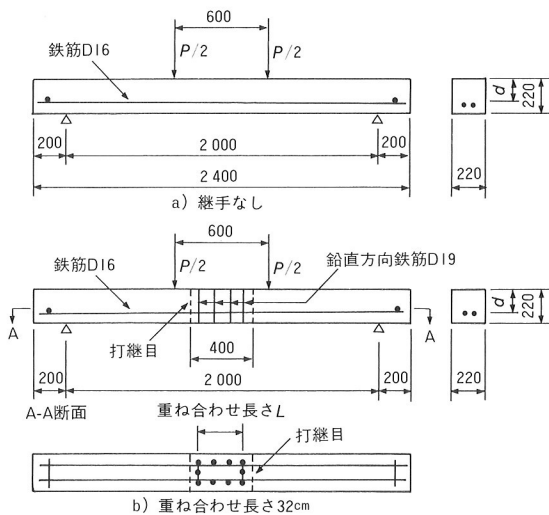


図-6 はり供試体と載荷方法

(2) 実験結果

実験結果の一部として、図-7, 8に荷重-変位関係および、ひび割れ形状の代表例を、また表-1に、各供試体について諸元とともに耐荷力を示す。これらについて考察を加えた結果、次のことが言えた。

a) 打継目の有無の影響

図-7に示した荷重-変位関係から、打継目の有るものと無いものとは、耐荷力にはほとんど影響ないが、載荷初期の段階における曲げ剛性の変化の度合いが異なることがわかる。この曲げ剛性の変化は、ひび割れの発生による全断面有効の状態からの剛性の変化により生ずるものであり、打継目のないものは第1ひび割れ発生後に急激に剛性が変化した。これに対し打継目のあるものは、載荷初期の曲げ剛性の変化は緩やかであった。このような挙動は、図-8に示すように打継目のある場合は、この位置から早期にひび割れが発生することに寄因するものと考えられ、打継目の有無は、載荷初期の挙動やひび割れ性状に影響することがわかった。

b) ループ状継手の重ね合わせ長さの影響

図-7および表-1に示した実験結果から、重ね合わせ

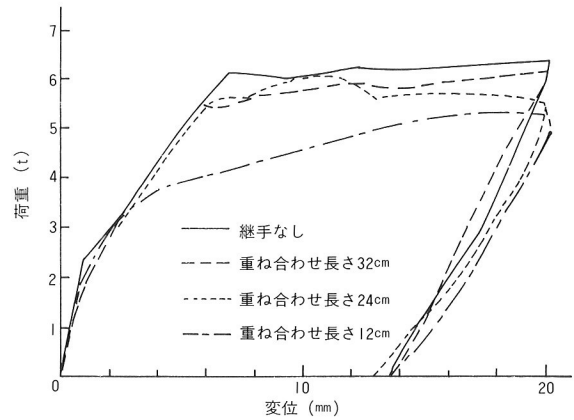


図-7 荷重-変位関係

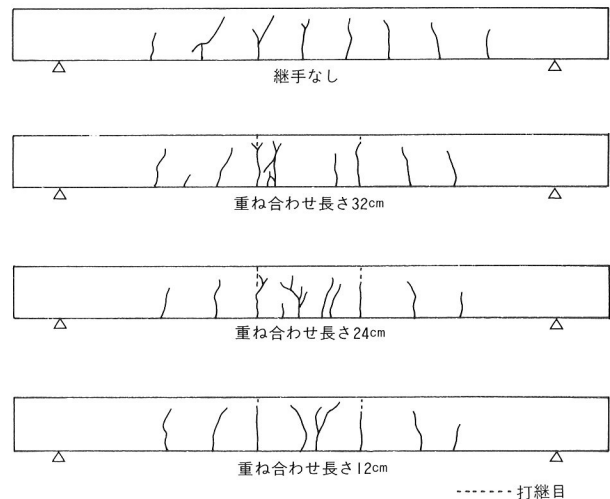


図-8 ひび割れ形状

表-1 はり供試体実験結果

供試体番号	重ね合わせ長さ L (mm)	鉛直方向鉄筋本数 (D19, 本)	有効高さ d (mm)	降伏荷重 (t)	耐荷力 (t)
N-A	—	—	162	5.94	6.83
N-B	—	—	162	5.85	6.43
N-C	—	—	162	5.81	6.87
I-A	320	10	156	5.42	6.32
I-B	320	10	157	5.63	6.56
I-C	320	10	157	5.73	6.87
II-A	240	6	157	5.62	6.18
II-B	240	6	161	5.60	5.92
II-C	240	6	156	5.86	6.39
III-A	120	4	156	—	5.48
III-B	120	4	156	—	3.74
III-C	120	4	156	—	5.89

長さ32 cm, 24 cmの供試体は、継手なしの供試体とほぼ同様の挙動を示し、耐荷力もほぼ同程度であるが、重ね合わせ長さ12 cmの供試体は異なった挙動を示すことがわかる。このような挙動の相違は、鉄筋相互の力の伝達機構が異なるために生ずるものであると考えられた。

重ね合わせ長さ32 cm(20φ)および24 cm(15φ)は、それぞれわが国の道示およびDINにおける重ね継手の必要

重ね合わせ長さの規定値であり、鉄筋の付着による応力の伝達を想定して定められたものである。したがって、これらの供試体は、鉄筋の付着作用により継手なしの鉄筋と同程度の応力を伝達する能力のあることが確かめられたと言えよう。

一方、重ね合わせ長さが12 cmの供試体は、コンクリートの腹圧力によって力が伝達されるものと考えられる。腹圧力による鉄筋1本当たりの力の伝達力 Z は、文献3)によると近似的に(1)式で表される。

$$Z = \frac{d \cdot \phi \cdot \sigma_c}{2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに d はループ内側直径、 ϕ は鉄筋径、 σ_c はコンクリートの圧縮強度である。本実験でもコンクリート強度に依存する傾向が見られ、腹圧力により力が伝達されていることが推定される。したがって図-5に示した継手では、腹圧力に対する照査が必要となることがわかる。

c) 実橋への適用

以上に示した実験結果から、重ね合わせ長さの長短により応力伝達機構が、鉄筋の付着による伝達からループの腹圧力による伝達へと変化することが確かめられ、腹圧力による力の伝達を期待する場合、継手部における応力照査も必要となることがわかった。前述の合成桁斜張橋の設計では、このループ状継手に通常の重ね継手と同等の応力伝達性能を期待していることから、重ね合わせ長さが24 cm(15 ϕ)以上あれば安全であることが実験で確かめられたが、道示との整合性を考慮して20 ϕ である32 cmを採用した。また、この継手構造において、打継目の有無やループ位置がひび割れ性状に影響を与えることがわかり、実橋への適用に際し、ひび割れに対する検討の必要性が本実験で示唆されたと言えよう。

4. ひび割れに対する検討

合成桁構造では、負の曲げモーメントによって床版コンクリートに引張り応力を生じ、道示9章の「合成桁」に規定されている床版の許容引張り応力度を満足するようにプレキャスト床版は設計される。このような引張り力を受けるコンクリート部材の耐久性および使用性に対する限界状態の検討項目として「ひび割れに対する検討」が「コンクリート標準示方書」の7章に規定されている。上述の道示の規定を満足していれば、通常はこの「ひび割れに対する検討」は満足されるものであるが、ループ状継手部では、第3章で示したように、ひび割れの発生状況は継手部外のひび割れ状況と同一ではない。特にプレキャスト床版がRC構造であることもあり、ひび割れの発生状況を確認して使用性の評価を行う必要があるものと考えられる。そこで、合成桁モデルを用いた繰返し載荷試験を実施し、使用限界状態に対する検討を行った。

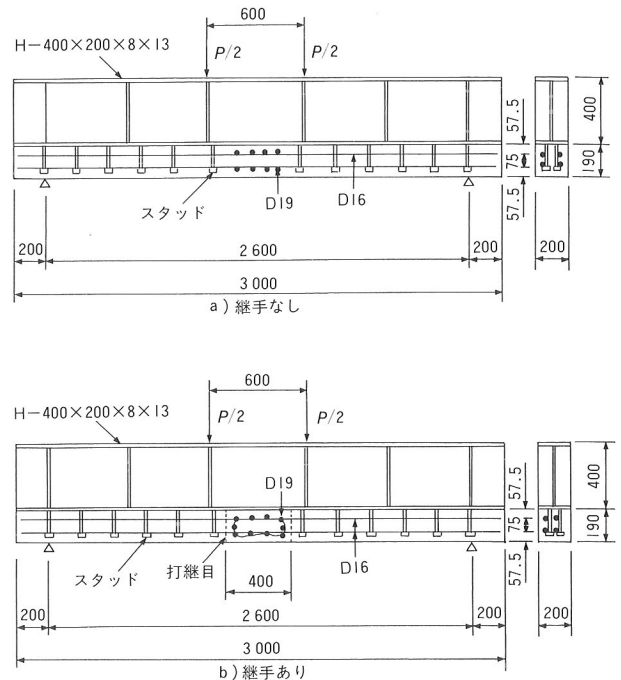


図-9 合成桁モデルと載荷方法

表-2 載荷荷重と繰返し回数

載荷段階	上限荷重 (t)	下限荷重 (t)	繰返し回数 ($\times 10^4$)
1	3.20	0.50	120
2	3.84	0.50	20
3	4.48	0.50	20
4	5.12	0.50	20
5	5.76	0.50	20
6	6.40	0.50	20
7	7.04	0.50	20
8	7.68	0.50	20

(1) 実験方法

実験で使用した合成桁モデルは、図-9に示すようにH形鋼とコンクリート部とをスタッドにより合成したものであり、継手なしのものと継手を有するものを準備した。この合成桁の断面形状は、床版厚さを実橋と同じ厚さとし、中立軸が鋼桁内に位置するように決定したものであり、図-9に示すような載荷を行うとコンクリート内には全断面引張り力が働く。負曲げに対する床版の設計では、死荷重、プレストレス力、およびクリープ・乾燥収縮の持続荷重によって生ずる引張り力は許容されず、活荷重と衝撃、および温度差によって生ずる引張り力のみが許容される。したがって、ここで実施する繰返し載荷試験は、後者の変動荷重を対象とすることになる。この繰返し載荷の載荷方法を表-2に示す。ここで、最初の段階で設定した荷重の $P=3.2$ tは、道示9章の合成桁の設計で、コンクリート断面を有効とする場合の許容応力度に対応する荷重である。

(2) 検討結果

図-10に、繰返し載荷試験後のひび割れ形状と幅を示す。継手なしのものは、許容応力度に対する荷重レベル

ではほとんどひび割れは発生しなかった。ひび割れは荷重レベルの増加に伴って発生したが、その幅はいずれも0.05 mm程度であった。これに対し継手を有するものについては、許容応力度に対する荷重レベルで、ループ位置にひび割れが発生した。このひび割れは、繰り返し回数5万回程度で発生し、ひび割れ幅は0.05 mm程度であった。荷重レベルが増加すると、このひび割れ幅は0.15 mmまで広がったが、それ以上にはならず、他の位置にひび割れが発生し、ひび割れが分散していく傾向にあった。ひび割れの分散状況は、試験終了時で継手なしのものと同程度であることがわかる。

このようなループ状継手部のひび割れ状況に対する使用性の評価法として、前述の「コンクリート標準示方書」の7章では、鉄筋の腐食に対するひび割れ幅の許容値が規定されており、この許容値を基準とすることができる。この許容値は、構造物の環境条件、かぶりおよび鋼材の種類に応じて定められており、今回対象としたプレキャスト床版では0.15 mmであった。実験で、ループ状継手部に発生したひび割れは、許容応力度に対する荷重レベル

これらの膨張材の使用は、乾燥などによる収縮を補償することを目的としたものであり、その使用量については、土木学会「膨張コンクリート設計施工指針(案)」⁵⁾に基づき、実際に現場で使用する材料を用いた膨張性試験を実施して決定した。また膨張モルタルについては、強度と流動性に加えて、ブリージングをほとんど生じない

表-3 材料の配合表

a) 膨張コンクリート配合

呼び強度 (kg/cm ²)	スランブ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水・セ メント比 (%)	細骨材率 (%)
400	8	25	4	37	42.6
単 位 量 (kg/m ³)					
セメント (C)	水 (W)	細 骨 材 (S)	粗 骨 材 (G)	AE減水剤 (Poz No.70)	膨 張 材 (アサノGp)
391	158	739	1012	1.333	35

b) 膨張モルタル配合

試験練り 28日強度 (kg/cm ²)	フロー 下 値 (sec)	水・セ メント比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			セメント (C)	水 (W)	細骨材 (S)	減水剤 (MY150R)	膨張材 (アサノGp)
576	8±1	40	622	264	1290	3.38 6.76	54

ことが要求され、W/Cを40%に抑え減水剤(マイティ150R)を使用してこの条件を確保した。以上の検討結果、表-3に示す配合で、施工が行われた。

6. あとがき

プレキャスト床版を含めた図-1に示した各種床版は、熟練技能者の減少や高齢化という社会的な情勢からも、今後需要が多くなることが予測される。今回ループ状継手を有するプレキャスト床版を対象として、応力伝達性能と安全性、および使用限界状態に対する検討を行い、問題のないことを実験により確かめた。前述したように、この形式のプレキャスト床版は欧米では多く採用されており、合成桁斜張橋ばかりではなく、他形式の新設橋梁用や補修用としても使用することができる。今後の需要が予測されるプレキャスト床版として、わが国でもこの形式の床版が一工法として検討されるものと思われる。

参考文献

- 1) 中井 博(編)：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、1988年。
- 2) 多田浩彦：第2回日米ワークショップと欧米の橋梁を訪ねて(下)、橋梁と基礎、Vol.20, No. 5, 1986年。
- 3) F.レオンハルト・E.メニッヒ(横道英雄監訳)：鉄筋コンクリートの配筋、鹿島出版会、1985年。
- 4) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)、コンクリート・ライブラリー第65号、1989年。
- 5) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針(案)、コンクリート・ライブラリー第45号、1979年。

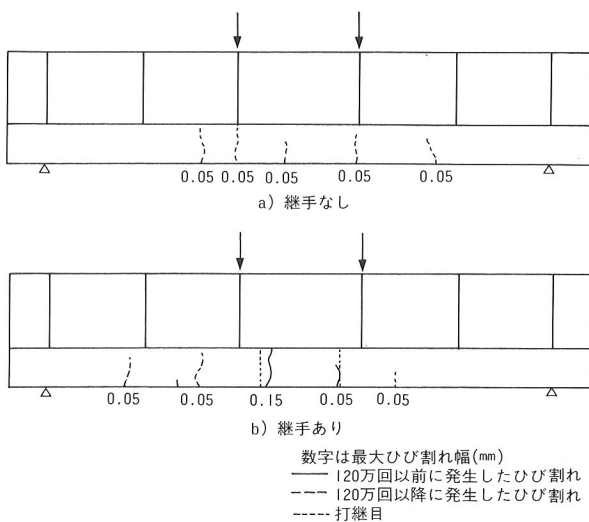


図-10 ひび割れ性状と最大幅

で0.05 mmであり、また、最悪の状態でも0.15 mm以上にはならないことから、この許容値以下であり、ひび割れに対する問題がないことが確かめられた。

5. 間詰め材料の検討

プレキャスト床版間詰め部の材料選定は、その施工とともに床版の耐久性に大きく影響し、重要な検討項目である。土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」⁴⁾でも、材料選定がコンクリート構造物の耐久性を評価するうえで重要な要因であることが示されている。この間詰め材料として、床版連結用継目部には膨張コンクリートを、またハンチ部とジベル用の孔には膨張モルタルを使用した。