

頭付きスタッドを用いたせん断連結継手を有する PCa 床版の開発研究

Study for Developmentt of Shear Transmmison Joint Using Studs in Precast Slabs

松井 繁之*, 金 閔七**, 樋口 雅善***, 石井 英則****

Shigeyuki MATSUI, Yoonchil KIM, Masayoshi HIGUCHI and Hidenori ISHII

*工博 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

**工修 大阪大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

***川田建設(株) 大阪支店 技術部 技術課 (〒550-0014 大阪市西区堀江 1-22-19)

****川田建設(株) 大阪支店 技術部 技術課 (〒550-0014 大阪市西区堀江 1-22-19)

Recently, the precast decks and the joints' development intending for labor-saving and high durability has been thriving. The authors are trying to develop a favorable precast deck with a new unique jointing system named as 'ST-Slabs'. The precast panels are jointed by using studs and non-shrinkage mortar to transmit only shearing forces between each panel without longitudinal prestressing. For the new type of joint, the shear strength were verified under static loading and fatigue loading of alternating shear force. The results of the joint seemed to show applicability favorable for actual bridge deck.

Key Words: precast concrete slabs, shear transmission joint, durability, alternating shear force loading test

1. はじめに

鋼橋の新設あるいは損傷床版の打換えにおいて、現場施工の省力化と高耐久性の確保のために、プレキャスト床版（以下、PCa 床版と呼ぶ）が多く採用されている。しかし、PCa 床版の継手には施工上多種の問題がある。

そこで、現場施工の省力化と工期短縮および経済性向上のために、縦締めを省略し、継手間詰め部間隔を狭小化したせん断連結継手を有する PCa 床版を考案した。この PCa 床版の構造は、図-1 に示すように鋼板と頭付きスタッドを用いたものである。継手において橋軸方向での連続性が低下すると床版は直交異方性版化し橋軸に直角な断面に作用する断面力は減少し、曲げ破壊の可能性は減少する。しかし、作用せん断力は低下しないため、継手はせん断力による劣化の方が懸念されるため、PCa 床版の連結部の応力伝達は主にせん断力のみを考えた構造である（以下、ST スラブ：Precast Slabs with Shear Transmission Joint と呼ぶ）。この継手は、鋼板に頭付きスタッドを千鳥状に溶接し、本体側にはアンカー筋を2段組に溶接して、PCa 床版端部に取り付けたものである。

この継手を有する実物大 PCa 床版供試体および、比較のために継手なしの PCa 床版供試体を作成し、ST スラブの力学特性、版としての連続性および耐久性を調べるため、定点載荷による静的および疲労試験を行った。

また、走行する輪荷重を本格的にシミュレートする輪荷重走行試験機により疲労試験を行い、継手部の連続性および耐久性を確認した。

加えて、継手部分の耐荷機構を明確にするために、継手構造のはり供試体を作成し、静的および耐久性実

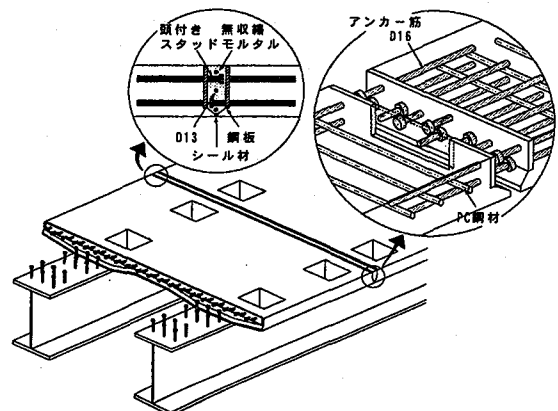


図-1 STスラブ概要図

験を行い、せん断耐力および破壊機構を確認した。
 ここでは、ST スラブ実物大供試体およびはり供試体の耐荷力と耐久性の結果について報告する。

2. 定点載荷試験

2.1 PCa 床版の寸法

図-2 に PCa 床版の概要を示す。橋軸方向は RC 構造であり、橋軸直角方向にプレテンション方式でプレストレスを与えた一方 PC 床版である。支間は 200cm で、橋軸方向 300cm、床版厚さ 18cm、継手幅は 6cm である。また、橋軸直角方向は PC 鋼材(SWPR7B)φ 12.7mm を 15cm ピッチで配置し、有効プレストレスは約 6MPa である。

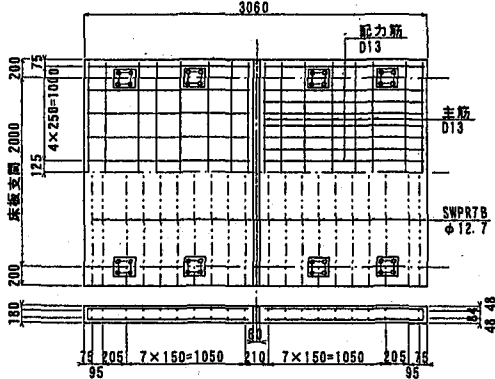


図-2 PCa 床版概要図

2.2 PCa 床版継手部の詳細

ST スラブの供試体の継手部詳細を図-3 に示す。ただし、図-3 は片側を示し、正面図の黒丸は、相手側のスタッドの位置を示す。頭付きスタッドはφ 19× 50mm とした。作用せん断力は FEM 解析により算出し、配置ピッチは道路橋示方書¹⁾および平城の限界状態設計法に対する許容耐力²⁾によって算出した。

道路橋示方書 $Qa=11.7kN$ $p=10cm$

平城 $Qa=24.4kN$ $p=20cm$

定点載荷試験の継手部の種類を表-1 に示す。

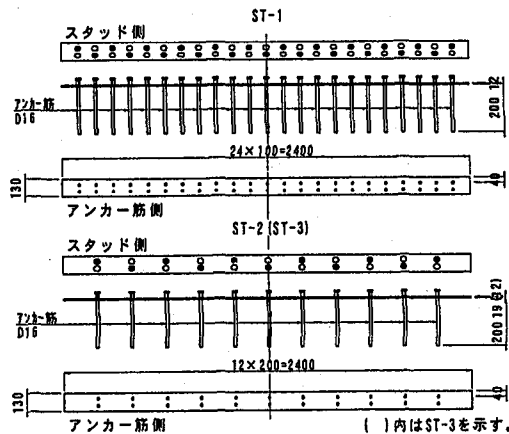


図-3 定点載荷試験に用いた継手部の構造詳細

定点載荷試験においては、スタッドピッチの違いを比較検討することにした。

表-1 定点載荷試験に用いた継手の種類

供試体	試験	スタッド間隔	鋼板厚
ST-1	静的試験	φ 19@100mm	t=12mm
ST-2		φ 19@200mm	t=19mm
ST-3		φ 19@200mm	t=12mm
ST-4		1枚版	
FC-1	定点載荷疲労試験	φ 19@200mm	t=12mm
FC-2	交互載荷疲労試験		

2.3 静的定点載荷および疲労定点載荷試験

ST スラブの力学特性、版としての連続性および耐久性を調べるため、スパン中央部に載荷する静的試験および疲労試験を行った。定点試験載荷概要を図-4 に示す。静的載荷試験は、各供試体とも荷重(P1)を与え、たわみ量、ひび割れ状況等を測定した。

疲労試験は、静的試験と同様な定点荷重(P1)と 2 本のジャッキ(P1, P2)を用いて 180° 位相を与えた交互載荷を行った。載荷荷重および回数は表-2 に示すとおりであり、285 万回終了後は、破壊状態に至るまで静的試験を行った。

表-2 載荷荷重および回数

載荷荷重	回数
140kN	0~1, 000, 000
220kN	1, 000, 000~2, 000, 000
290kN	2, 000, 000~2, 500, 000
360kN	2, 500, 000~2, 850, 000

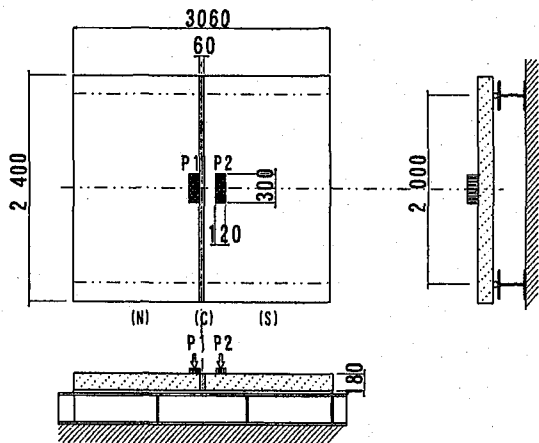


図-4 定点載荷試験概要

2.4 定点載荷試験結果

2.4.1 静的定点載荷試験結果

図-5 に床版支間方向のたわみ分布を示す。実線の解析値は、3 次元 FEM 解析結果である。解析モデルは、スパン 200cm の PCa 床版を支間方向に 24 分割、支間直

角方向に 20 分割四角形アイソパラメトリック要素を用いてモデル化し、連結部はピン結合で表現した。なお、ひび割れは考慮しないものとし、 $P=100\text{kN}$ の面荷重を連結部エッジに載荷した。

ST-1~3 のたわみは、ST-4 よりも大きい、弾性的な挙動は ST-4 とほぼ同様であり、ST-2 および ST-3 の結果を見ると鋼板の厚さによる違いは見られなかった。

図-6 は、継手部での荷重-たわみの関係を示す。ST-3 のたわみ剛性が 350kN を越えるあたりから他の供試体より小さくなっている。

どの供試体も載荷荷重 $200\sim 250\text{kN}$ において荷重直下の床版コンクリート下面にひび割れを生じ、荷重の増加とともに放射状のひび割れパターンを形成した。最終的な破壊は、各供試体とも荷重載荷側の押し抜きせん断破壊であった。表-3 に各供試体の終局耐力と、松井式³⁾およびコンクリート標準示方書⁴⁾の計算値を示す。どの供試体もほぼ同等の耐力を有しており、松井式の計算値に近いことが分かる。

表-3 終局耐力

供試体	実験値 (kN)	終局耐力 (kN)	
		土木学会	松井式
ST-1	710	543	670
ST-2	680		
ST-3	665		
ST-4	700		

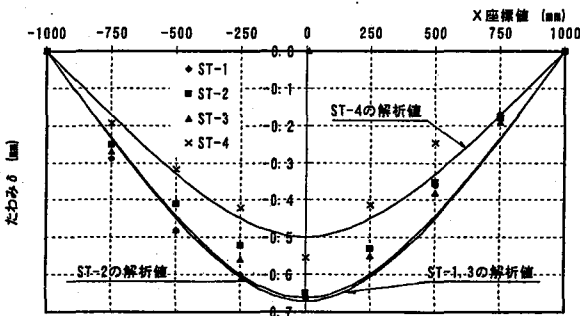


図-5 支間方向たわみ分布

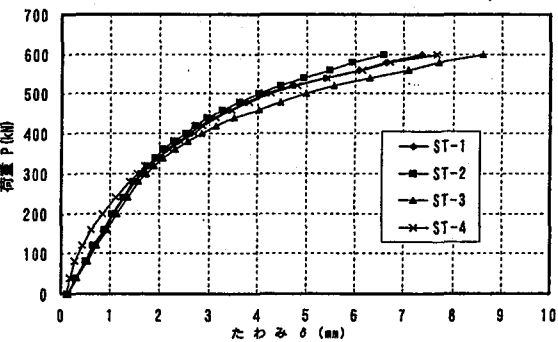


図-6 荷重-たわみ曲線

2.4.2 疲労載荷試験結果

図-7、図-8 に定点疲労載荷試験 (FC-1) による繰返し回数とたわみ、開きの関係を示す。間詰め部には 40 万回程度でヘアクラックが生じたが 100 万回までは変化が見られなかった。また床版部には 100 万回繰返し後に荷重を増加したことによりクラックが発生した。その後、設計荷重の 1.5 倍での 200 万回繰返し載荷においても、たわみおよび開きの急激な変化、継手部の異常は見受けられなかった。設計荷重の 2.5 倍で荷重の載荷を開始した 250 万回以降に急激にクラックの進展、たわみの増加、開きが大きくなり剛性が安定しない状態が見られた。285 万回載荷で繰返し荷重を終了し、静的載荷で破壊状態に至るまで荷重を増加した。破壊状態は静的載荷と同様押し抜きせん断破壊であった。

載荷終了後載荷側の鋼板に疲労亀裂が発生しており、鋼板背面に溶接されたアンカー筋の根元部を鉛直方向に貫通しているものと頭付きスタッド下面の橋軸直角方向の 2 種類であった。これはアンカー筋と頭付きスタッドの溶接点在同一であったために弱点になったものと思われる。

交互載荷疲労試験 (FC-2) の結果は、ほぼ定点載荷疲労試験と同様であった。しかし、第 2 載荷点 (図-4, P2 側) は間詰め部ではなく、床版側に鋼板との開きが見られた。

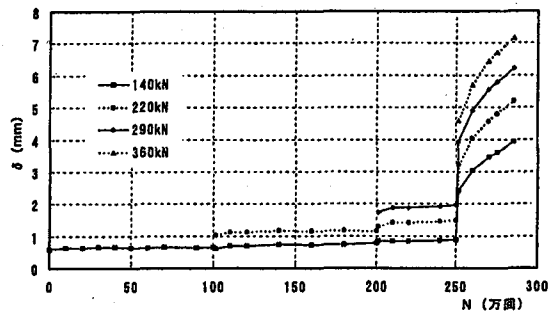


図-7 継手部の繰返し回数-たわみの関係

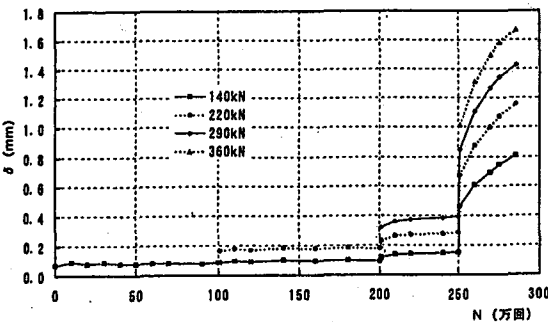


図-8 継手部の繰返し回数-開きの関係

3. 輪荷重走行試験

3.1 継手の改良

図-9 に輪荷重走行試験に用いた継手詳細、表-4 に供試体種類を示す。定点載荷試験の結果より改良を加えた点は以下の通りである。

- 1) 鋼板厚の違いによる差異は見られなかったことより鋼板厚は $t=12\text{mm}$ とした。
- 2) 疲労性状の改善を図るため、頭付きスタッドとアンカー筋の溶接点をずらし、アンカー筋ピッチを 12.5cm とし図-2 に示す配力筋と結束した。アンカー筋の埋め込み長は、 $L=20\text{cm}$ から $L=35\text{cm}$ とした。(図-8, 図-9 参照)

表-4 輪荷重走行試験に用いた供試体

供試体	スタッド間隔	鋼板 ($t=12\text{mm}$)
ST-A	$\phi 19@125\text{mm}$	千鳥溶接
ST-B	D16@125mm	穴あき鋼板を使用
ST-NJ	1枚版	

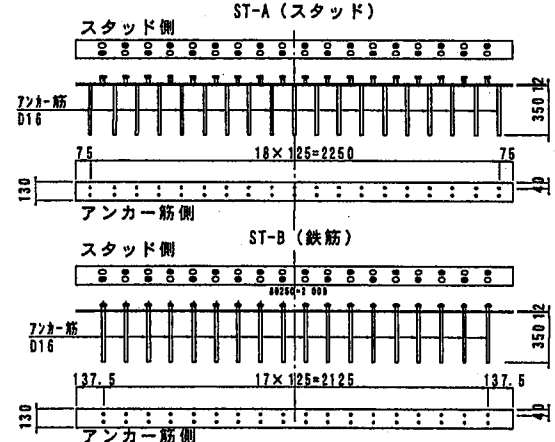


図-9 輪荷重走行試験に用いた継手部の構造詳細

3.2 輪荷重走行試験による実験方法および測定項目

輪荷重走行試験による疲労載荷荷重と回数は表-5 に示すとおりである。最終回数までの走行試験の途中、適宜静的測定を行った。測定時における輪荷重の載荷位置は床版のセンター(C)、南側(S、センターから 60cm 離れた点)および北側(N)である。測定項目は床版のたわみ、継手部の開き、各部の鉄筋とコンクリート表面のひずみの変化、ひび割れ幅および、ひび割れ状況の観察である。

表-5 各供試体の輪荷重走行回数 (往復)

	ST-A	ST-B	ST-NJ
147.11kN			100,000
176.53kN	500,000	500,000	100,000
205.95kN			150,000

3.3 輪荷重走行試験機による動的試験結果および考察

3.3.1 繰返し回数-たわみの関係

図-10 に各供試体の床版中央の走行回数の増加に伴う活荷重総たわみの変化を示した。ST-A, B と ST-NJ を同じ荷重で比較すると約 $30\sim 40\%$ 程度たわみが増加することがわかる。これは継手が損傷したためではなく、橋軸方向の鉄筋が連結していないための剛性低下が大きく、異方性が発現したためと思われる。継手ありの両供試体の活荷重たわみ変化は走行開始後すぐに安定し、50 万往復の後で 10% の増加が見られる。外見上継手部に激しい損傷もないことと符号しており、継手は十分耐久性があると判断できる。経済性を図った ST-B は ST-A と比較すると全体的に約 10% 程度のたわみが増加していることがわかる。これは ST-B の鋼板において $\phi 19\text{mm}$ の穴に、D16 の鉄筋を通したため径の差により、ずれ止めとしての剛性が低下したためと考えられる。

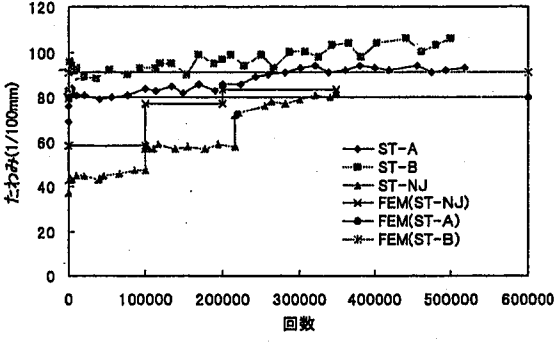


図-10 繰返し回数 - たわみの関係

3.3.2 各々 PCa 床版の継手の挙動

図-11 は、ST スラブの連続性および継手の耐久性の確認のため、最終的に 50 万往復回時の南側(S)に載荷した時の橋軸方向たわみ分布を示す。これから、本床版の継手はせん断力を主に伝える継手であるが、継手部分において角折れなどの現象は見られない。また、橋軸方向の主鉄筋(橋軸直角方向筋)ひずみ分布を図-12 に示した。この結果からは継手が存在すると載荷

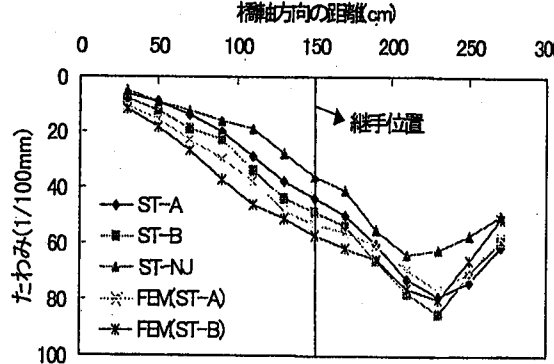


図-11 南側に載荷した場合の橋軸方向たわみ分布

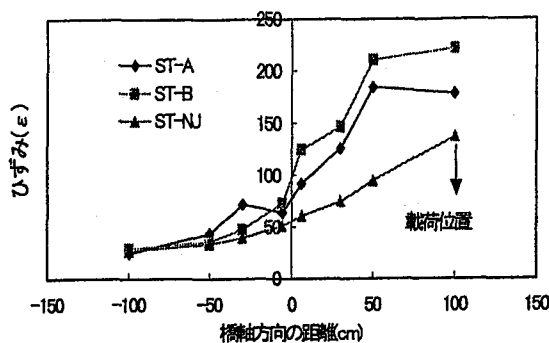


図-12 南側に載荷した場合の主鉄筋ひずみ分布

パネル側のひずみが大きく、このひずみ差を設計に考慮しなければならない。しかし、非載荷側でも継手がない場合と同等以上のひずみを発生しており、荷重分配が行われていることが分かる。従って、スタッドを用いた本継手構造は橋軸方向にプレストレスしないPCa床版の継手として充分、役割を果たしていると言える。

3.3.3 継手部のひび割れの動き

継手部の鋼板を挟んだ床版コンクリートと間詰モルタル間の動的変位を(180kN時の開きおよび段差)図-13に示す。ST-Aにおいて開きと段差が約0.35mmと0.1mm程度で安定していることがわかる。また、ST-Bにおいて開きと段差はST-Aより50%程度大きい約0.45mmと0.15mm程度であるが、開きは若干増加傾向にある。0.1mm~0.15mmの段差量では貫通ひび割れがあったとしても十分なせん断剛性が残留しているといえ、50万往復後でもこの値を確保しており、本継手の耐久性が認められる。ただし、漏水しないことが原則であるので、本床版上面に防水工を設けることを前提としたい。

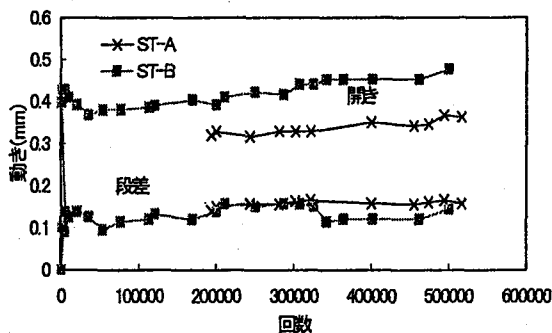


図-13 継手部における段差および開きの比較

3.3.4 スタッドを有するPCa床版の解析

継手部分を含んだ床版においてスタッドのせん断剛性を与えた3次元のFEM解析を試みた。解析は汎用プログラムのMARC⁵⁾を用いた。コンクリートは20節点のアイソパラメトリックス要素を用いた弾塑性解析であ

る。コンクリートの降伏条件はDrucker pragerの式を採用し、等方硬化則を仮定した。また、母体および継手コンクリートが引張強度を超えるとクラックが発生する条件を用いた。継手部分におけるバネ要素については、 x (橋軸方向), y (橋軸直角方向) はコンクリートと鉄筋のヤング係数をコンクリート換算して足したものに継手距離を割った値とし、 z (厚さ方向) はコンクリートのみのヤング係数に距離を割った値とした。

輪荷重を南側に載荷したときの解析値を図-10, 11に書き加えた。この結果から実測のたわみ分布とほぼ同様であることが分かる。

4. はり供試体によるせん断耐荷力

4.1 実験概要

輪荷重走行試験機による実験から継手の疲労耐久性は確認できた。しかし、継手部分における耐荷機構を明確に把握するため、継手部分の構造をはり状に取り出し、純せん断力がかかる試験装置を用いてはり供試体による耐荷力および耐久性の実験を行うことにした。

4.2 はり供試体の構造詳細

継手供試体は、図-2に示した床版から幅50cmで取り出したものとした。供試体は、50cm幅に3本のスタッドが等間隔になるよう配置した。供試体を図-14に示す。ST-BEAM-Aは頭付きスタッドであり、ST-BEAM-Bは鋼板に穴を開け、配力鉄筋を穴に通し、経済性を図ったものである。また、ST-BEAM-CはST-BEAM-Aの鋼板を縞鋼板とした。静的はり供試体の数は各タイプ毎に3体ずつ用意した。

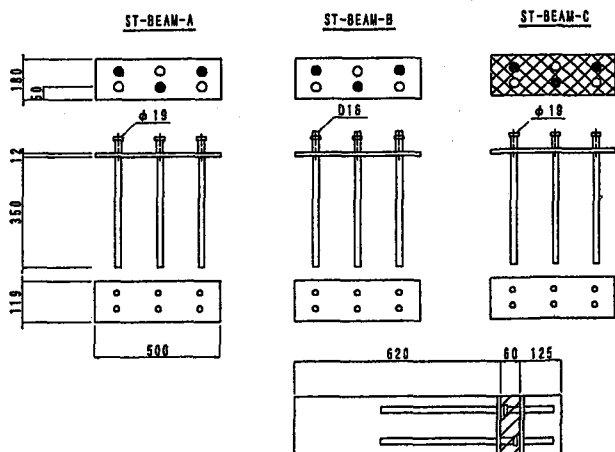


図-14 はり試験供試体

4.3 継手における純せん断静的試験装置

実験装置は図-15に示したように、供試体の一部をPC鋼棒で締め付けて片持はりとし、その先端部位置で荷重をかけるが、片持部先端の回転を拘束する回転拘束装置を用いて、供試体の継手中央部で曲げモーメン

トがゼロで、純せん断応力状態となるようにした⁶⁾。継手部がせん断破壊位置となるようにせん断スパン比 (a/d=1.5) を決めた。また、交番繰り返し荷重をかける場合には回転拘束部材を下にも対称につけた (点線部分)。これは、輪荷重走行試験に代る簡易試験法にもなると考えられる。

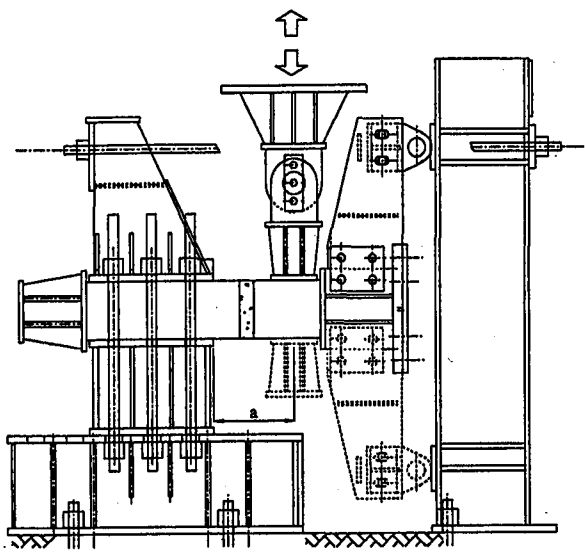


図-15 純せん断静的および動的試験装置

4.4 試験結果

はり供試体のせん断耐荷力の結果を表-6 に示した。各供試体は 6cm の継手幅に斜めひび割れが発生すると同時に耐荷力を失った。

継手部分のモルタルをはつとスタッド部分はコーン破壊が発生したことが分かった。図-16 に全ての供試体の継手部正面の最終ひび割れ状況を示した。

このひび割れ発生機構から、全てのはり供試体の継手部分におけるせん断耐力は、斜めひび割れが発生するとともに、スタッドにコーン破壊が起こる時の耐力と考えられる。

スタッドの終局せん断耐力²⁾は次のように表せる。

$$P_{cu} = 31.4As\sqrt{(h/d_s)f'_c} + \alpha \tag{1}$$

ここで、Pcu:終局せん断耐荷力 (kN), As:スタッドの断面積 (mm), h:スタッドの全高, ds:スタッドの軸部の直径, f'c:コンクリート円柱圧縮強度 (N/mm²), α:定数である。

しかし、本継手ではスタッドの破断はなかったので、図-13 のようにコンクリートのコーン破壊で破壊したと言える。ST-BEAM-A タイプの破壊はスタッドから 45° 角度として破壊すると観察した。また、ST-BEAM-B タイプはスタッドの破壊角度から 30° 程度であった。終局せん断耐荷力 S_{cr} は次のようにコーン破壊の投影面積にコンクリートの引張強度の積で表される。

$$\sum (2h_i \tan \theta + b_i) \cdot t \cdot \sigma_t \tag{2}$$

ここに、h_i:スタッドまでの高さ, b_i:コーン破壊する幅, B:コーン破壊する全幅, σ_t:モルタルの引張強度 t:継手幅 (ただし、斜め部分)

縞鋼板を用いた ST-BEAM-C タイプではせん断ひび割れは母床版部側で先に発生した。最終的に継手内の充填モルタルにひび割れが発生するが、終局破壊は床版部であり、アンカー鉄筋のダウエル効果で破壊耐力が決まると考えられる。従って、式(3)で表される鉄筋のダウエル力でせん断耐力が与えられる。

$$S_{cr} = 2 \cdot \sigma_{tmax} \cdot C_m \cdot B \tag{3}$$

ここに、σ_{tmax} :モルタルの引張強度, C_m :鉄筋のかぶり厚さ, B:はり幅

各供試体の算定結果を表-7 に示す。算定式がやや危険側になるが、コーン破壊する角度を正確に計ることによって、精度を高められると考えられる。

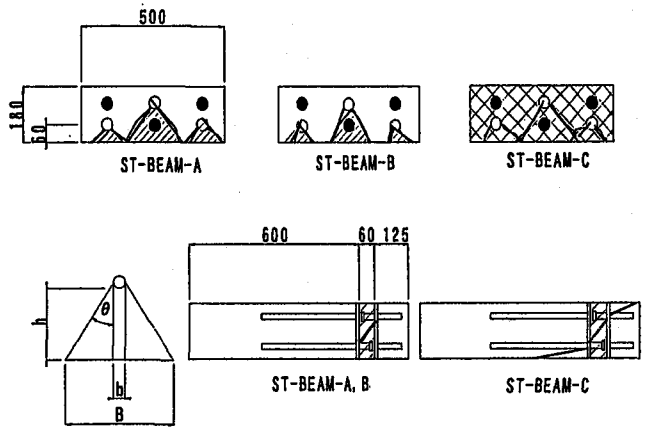


図-16 静的供試体の最終ひび割れ状況

表-6 静的結果

タイプ	せん断耐荷力 (kN)	
ST-BEAM-A	143	148.1
	149	
	152	
ST-BEAM-B	74	77.18
	79	
	78	
ST-BEAM-C	215	215.75
	213	
	218	

図-17, 図-18 に各供試体の荷重-たわみの関係、荷重-一段差の関係を示す。ST-BEAM-C は、ST-BEAM-A と同様の頭付きスタッドを使用しているが、縞鋼板を使用しているためせん断変形も小さくなっている。ST-BEAM-B は、D16 と他の供試体のスタッドφ19 よりも径が小さく鋼板の穴φ19 との差もあるが、たわみ量はほぼ同じであった。しかし、早期に破壊してしまった。

また、継手部の終局せん断耐力は、コーン破壊により決定されるため、適切な鉄筋で補強することが考えられる。そこで、図-19 に示すような2種類の補強鉄筋を ST-BEAM-B に用いた試験を行った。表-8 に改良型のせん断耐力結果を示す。また、図-20 に改良型の荷重-一段差の関係を示す。その結果、せん断終局耐力が約 20kN 増加し、若干であるが段差の減少も見られ、補強鉄筋の有効性が確認できた。

表-7 算定式と実測値の比較

タイプ	実測値①	算定式②	①/②
ST-BEAM-A	148.1kN	161.9kN (2) 式より	0.91
ST-BEAM-B	77.18kN	82.2kN (2) 式より	0.94
ST-BEAM-C	215.75kN	215.9kN (3) 式より	1.00

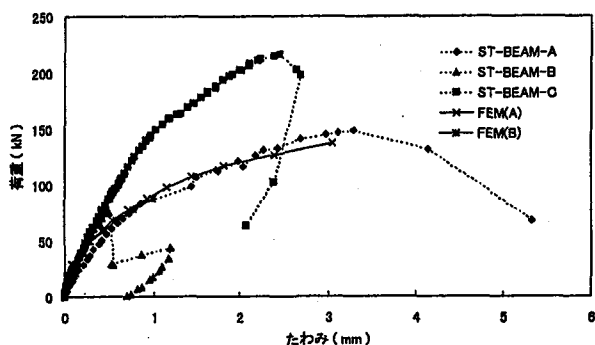


図-17 各供試体の荷重-たわみの関係

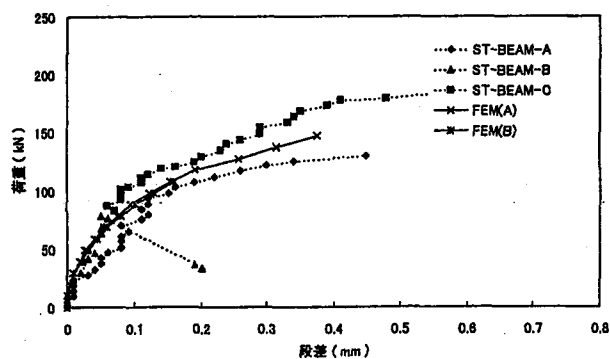


図-18 各供試体の荷重-一段差の関係

表-8 補強後せん断耐力

	せん断耐力
補強筋 -1	98kN
補強筋 -2	108kN

補強鉄筋-1



補強鉄筋-2

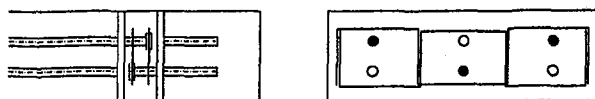


図-19 補強筋配置図

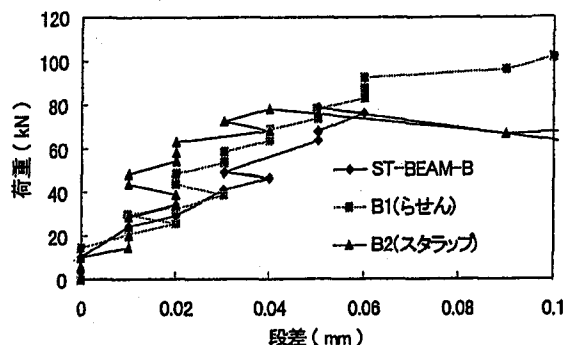


図-20 改良型荷重-一段差の関係

5. はり供試体によるせん断連結継手の耐久性試験

5.1 純せん断による交番繰返し継手の耐久性試験

図-12 に示した装置の下側の回転拘束具をつけ、交番繰返しせん断力による疲労実験を行った。継手の種類は静的と同様に ST-BEAM-A、ST-BEAM-B および ST-BEAM-C タイプで2体ずつ用意した。

支間 2m の単純支持の実橋床版を想定して、実橋床版に発生する曲げモーメントおよびせん断力と等価な断面力を与えるはり供試体の載荷荷重を求めた。

設計活荷重 98kN を載荷し、継手部分に最大せん断力が発生するよう FEM 解析を行った。その結果、最大せん断力は 30.4kN、曲げモーメントは 8.8kN・m となった。これらの断面力を発生する荷重を設計荷重として、20 万回毎に設計荷重の 1.5 倍および 2 倍に荷重を増加し、総計 60 万回の繰返し載荷を行った。測定項目は継手部分の開き、段差、たわみおよびひび割れの観察である。

5.2 純せん断による交番繰返し継手の耐久性試験

図-21 および図-22 に各タイプごとに継手部分における開きおよび段差の関係を示す。せん断連結継手の開きの結果は輪荷重走行試験の結果と同様に ST-BEAM-A が ST-BEAM-B より開きが小さいことが分かる。また、段差の結果も ST-BEAM-A が若干 ST-BEAM-B より小さい結果を示した。純せん断による静的および動的の結果からは、縞鋼板を用いた C タイプ継手が最もよい結果、

を示した。しかし、ST-BEAM-A とあまり差は見られなかった。また、図-23 に最終ひび割れ状況を示す。全ての供試体は継手部分において貫通するひび割れが発生したが、ST-BEAM-C は継手部分の外側にひび割れが発生したが、縞鋼板の摩擦によって継手内部にひび割れは発生しなかった。上記の貫通ひび割れの発生状況から、この簡易試験のひび割れ結果と輪荷重走行試験のひび割れ発生状況はほぼ同様であり、本方法による簡易法の有効性が認められる。

はり供試体の疲労試験結果からは、各タイプ毎の回数と開きおよび段差は弾性的な挙動を示したが、設計荷重時の静的測定値を比較すると、Bタイプは約2倍、Aタイプは約3倍、Cタイプは約5倍になっていた。

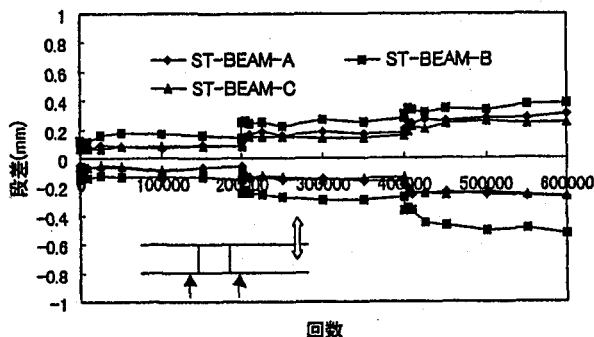


図-21 継手部分における荷重-開き関係

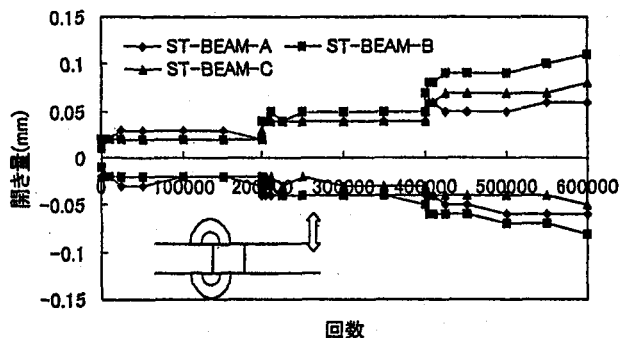
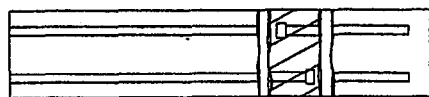
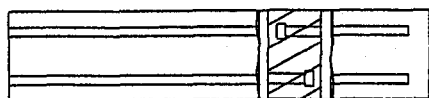


図-22 継手部分における荷重-段差関係



ST-BEAM-A, B



ST-BEAM-C

図-23 最終ひび割れ状況

6. まとめ

継手を有する PCa 床版を用いて連続性および疲労耐久性に関する実験から得られた主な結果は以下のようである。

- 1) 継手を有する床版の静的定点載荷試験の終局状態は、押し抜きせん断破壊であり、1 枚版と同等の耐力を有する。
- 2) スタッドを用いたせん断連結継手を有する PCa 床版の耐久性および連続性はほぼ問題なく確保している。しかし、継手部において貫通ひび割れが発生するので、防水工の設置が必ず必要である。
- 3) 交番繰返しせん断実験のひび割れパターンは輪荷重走行試験のものと様になる。
- 4) はり供試体を用いた純せん断実験から各タイプ供試体のせん断耐力および破壊機構を調べ、スタッドおよび縞鋼板の有効性が確認できた。
- 5) せん断耐力を向上させるためには、下記の対策が有効であることが検証できた。

a) スタッドを取り巻く補強鉄筋を配置し、コーン破壊耐力を向上させる。ただし、補強鉄筋-1 は、施工が煩雑になるため、補強鉄筋-2 の方が望ましいと思われる。

b) 縞鋼板を使用し、せん断力の分散を図る。

今後、構造および経済性の観点から、縞鋼板+貫通鉄筋の組み合わせについても検証したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I・Ⅲ共通編・コンクリート橋編，1994. 2.
- 2) 松井・平城：限界状態設計法のための頭付きスタッドの静的・疲労強度に関する評価式，第 2 回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，PP163-168，1989.
- 3) 前田・松井：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第 348 号/V-1，pp. 163-168，1984.
- 4) コンクリート標準示方書（設計編），1996. 3
- 5) Marc Analysis Research Corporation：MARC Manual，Vol. A-E，1994.
- 6) 金・松井・江頭・宮川：プレキャストコンクリート床版のせん断キー継手の耐荷力に関する実験的研究，JCI，1999. 7

(1999 年 9 月 17 日受付)