

(79) **せん断継ぎ手を有するプレキャスト床版の開発**
— S Tスラブの開発 —

大阪大学 工学部
 大阪大学 大学院
 川田建設(株)大阪支店 技術部
 同上

松井 繁之
 金 閏七
 樋口 雅善
 会員 ○石井 英則

1. はじめに

近年、鋼橋の新設あるいは補修の床版において、現場施工の省力化と高耐久性確保のため、プレキャスト床版が使用されていることが多い。大別すると、型枠をプレハブ化した床版、型枠・鉄筋をプレハブ化した床版、プレキャスト床版の3種類に分類される。

このうち、プレキャストコンクリート床版としては、PC床版とRC床版が考えられ、いずれの構造においてもパネル相互間の連結に対し各種の連結工法が提案されている。この橋軸方向の連結工法は、基本的に、橋軸方向にプレストレスを導入する方法と、しない方法の2種類に大別できる。

前者については、すでに数多くの実績があり、設計基準類¹⁾も整備されつつある。しかし、プレストレスを導入するためにPC鋼材を用いて縦締めを行うことになるため、この作業自体が工程上のネックとなり、工費の増加も避けられないと指摘されている。また、部分的に取り替えも煩雑である。

これに対し、現場施工のさらなる省力化と工期短縮および経済性向上のために、縦締めを省略した方法が各種提案されており、その代表例として第2東名自動車道等に採用されているループ継ぎ手がある。しかし、この工法においてもループ継ぎ手部(間隔約30cm程度)が現場打コンクリートとなるため型枠の組立・解体作業が必要となる場合もある。また、最終的にPCパネル間にRC継手部が混在することになるなどの問題点もある。

そこで、継手間詰め部間隔を狭小化し、相互の段差解消と荷重分配のため、せん断力のみを確実に伝達できるような継手構造を持つプレキャストコンクリート床版いわゆる「せん断連結床版」(以下、STスラブという:Pca-Slabs with Shear Transmission Joints)を考案し、継手部分および床版部の耐久性を確認するために実物大供試体による静的載荷試験および輪荷重走行試験を行った。

本文は、これらの実験の結果について報告する。

2. STスラブの構造

STスラブの構造概要を図-1に示す。STスラブはPC鋼材による縦締めを必要とせず、現場施工の省力化および急速施工が可能な高耐久性床版を目指すものであり、現場形成のせん断連結構造によりパネル相互間のせん断伝達のみを期待して一体化を図った床版である。当然のことながら、パネル相互間のせん断連結継ぎ手の構造が重要であり、少なくとも以下の要件を満足する必要がある。

- ① 確実なせん断伝達要素の選定。

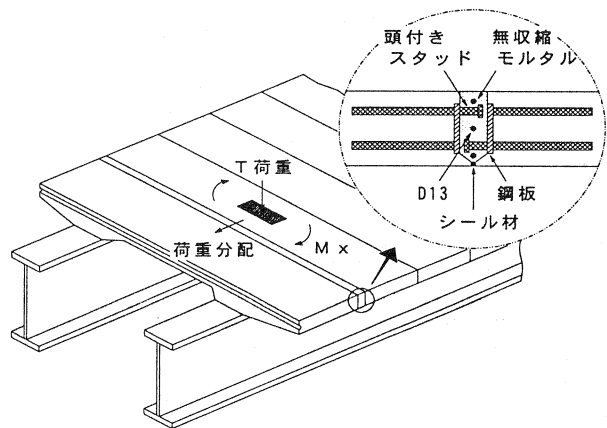


図-1 STスラブ概要図

- ② パネル相互間の離間防止。
- ③ 継手部(RC部)間隔の狭小化。
- ④ 施工誤差や不陸の吸収のために自由度の大きい現場形成の継手であること。

これらの要件を満足する構造として、鋼・コンクリート合成桁のずれ止めとして多用されている頭付きスタッドを千鳥状に溶接した鋼板を埋め込んだプレキャストパネルを工場製作する。その後、現場においてこれらが互いに噛み合うように設置し、間詰め部に無収縮モルタルを流し込んで一体化しようとするものである。

3. FEM解析

連結板の基本板性状を把握するために、2枚のパネルを連結したモデルについて3次元FEM解析を実施した。解析モデルは、後述する静的試験供試体である。スパン2.0mのパネル(幅1.5m, 厚さ18cm)を支間方向24分割, 支間直角方向20分割した四角形アイソパラメトリック板曲げ要素を用いてモデル化し, このパネルを2枚並べて2辺で単純支持した。連結部のピン結合は, 両パネルの隣接点同士を立体トラス要素で連結し表現した。版は等方性で, そのヤング係数は 33.0 kN/mm^2 とし, ひび割れは考慮しないものとした。また, 荷重は, 1枚のパネルの連結エッジ部に載荷し, 輪荷重を想定した $P=100\text{ kN}$ の面荷重(載荷面積 $120\times 300\text{ mm}$)を与えた。なお比較のために, パネル2枚分の大きさの1枚版についても, 同じ要素分割および載荷状態で計算を行った。

これらの計算結果より, おおよそ以下のことが分かった。

- ① せん断連結することによりY方向(配力筋方向)たわみ曲線において, 連結部で明らかな角折れ現象が見られた。
 - ② 床版上面における主鉄筋方向応力度 σ_x は, 1枚版に比べて最大で約10%程度大きくなるが, その分布性状は1枚版と同様であった(図-2)。
 - ③ 床版上面における配力筋方向応力度 σ_y は, 1枚版に比べて全体的に約1/3に減少する(図-3)。
- なお, 図中のSA~SNは次項, 表-3 静的供試体の実験値を示す。

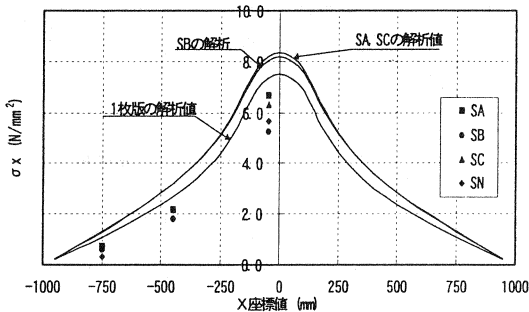


図-2 主鉄筋方向応力度

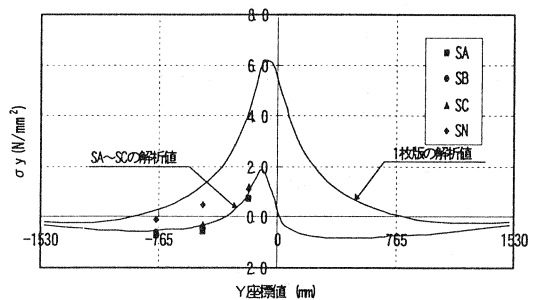


図-3 配力筋方向応力度

4. 供試体の設計

供試体の設計条件は, 以下のとおりとした。

- ① 主鉄筋方向は, PC構造(プレテンション), 配力筋方向は, RC構造とする。
- ② 床版支間長 $L=200\text{ cm}$ とし, 道路橋示方書²⁾よりパネル板厚を $d=18\text{ cm}$ とした。

③ 設計曲げモーメントは、道路橋示方書²⁾を適用するが、FEM解析結果より主鉄筋方向の曲げモーメントは1割り増しとした。また、配力筋方向曲げモーメントは、FEM解析結果からは1/3程度に低減できるが、安全を見て低減は行わなかった。

④ 頭付きスタッドは、φ19×50mmとし配置ピッチは、道路橋示方書²⁾および、平城の限界状態設計法に対する設計耐力³⁾によって計算した。

道示橋示方書 Qa=11.7kN p=10cm

平城 Qa=24.4kN P=20cm

ただし、輪荷重走行試験においては配力筋ピッチに合わせ p=15cmとした。また、経済性よりスタッドを用いない供試体を追加した。

⑤ 補強鋼板の厚みは、定点载荷においては t=12mm, t=19mmとし、輪荷重走行試験に対しては t=12mmとした。

⑥ 終局耐力の算定は、曲げ耐力に対しては、道路橋示方書²⁾により行い、押し抜きせん断耐力については、松井式⁴⁾および、コンクリート標準示方書⁵⁾により行った(表-1, 表-2)。

表-3に定点载荷による供試体, 表-4に輪荷重走行試験機による供試体種類を示す。

また、図-4に供試体図を示す。

5. 実験概要

5. 1 定点载荷

スタッドを用いたせん断連結継手の力学特性や耐力を調べるとともに、STスラブの弾塑性挙動などを明らかにするため、スパン中央部に载荷する静的試験および疲労試験を実施した。静的载荷試験は、各タイプともスパン中央部に破壊まで荷重を与え、たわみ量、ひび割れ状況等を測定した。

疲労試験は、静的载荷と同様な定点载荷と2本のジャッキを用いて180°位相を与えた交互载荷を行った。载荷荷重お

表-1 曲げ耐力

	主筋方向	配力筋方向
ひび割れ発生荷重	214kN	113kN
終局耐力	543kN	292kN

表-2 押し抜きせん断耐力

	松井式	土木学会
押し抜きせん断耐力	670kN	543kN

表-3 定点载荷による供試体

供試体	試験	スタッド間隔 (mm)	鋼板厚 (mm)
SA	静的試験	100	12
SB		200	19
SC		200	12
SN		1枚版	
FC-1	疲労試験	200	12
FC-2		200	12

表-4 輪荷重走行試験による供試体

供試体	スタッド間隔 (mm)	鋼板 (t=12mm)
FA	φ19@150	千鳥溶植
FB	D16@150	穴あき鋼板を使用
FN		1枚版

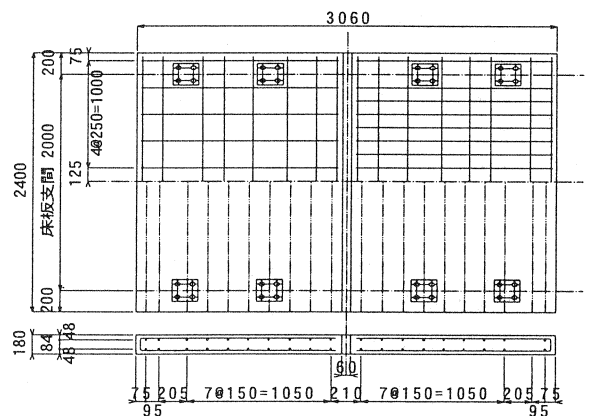


図-4 供試体図

よび回数は、表-5に示すとおりであり、285万回終了後は、静的状態に至るまで静的载荷を行った。

5. 2 輪荷重走行試験

せん断連結継手の連続性と耐久性を調べるために、輪荷重走行による疲労試験を行った。各ケースごとに輪荷重走行位置は床版支間中央で、継手位置を中心に1mの範囲を往復走行させた。まずはじめに、供試体の中央で0回の静的载荷を行ってから移動载荷に移った。走行载荷の途中、表-6に示したように決められた回数に測定を行った。継手なしのFNは床版自体の疲労を把握するため、決められた回数ごとに装置を停止させ、疲労の進行状況を把握した。最大荷重まで静的载荷による測定および観察を行った。

測定項目は、床版のたわみ、継手部の動き、各部の鉄筋コンクリート表面のひずみの変化、ひび割れ幅および、ひび割れ状況である。

表-5 定点载荷疲労試験载荷荷重

载荷回数	荷重
0~100万回	140kN
100~200万回	220kN
200~250万回	290kN
250~285万回	360kN

表-6 輪荷重走行試験の荷重と回数(往復)

荷重	FA	FB	FN
100kN			
130kN			
150kN			10万回
160kN			
180kN	50万回	50万回	10万回
190kN			
210kN			15万回

6. 試験結果及び考察

6. 1 定点载荷

(1) 静的载荷試験

- ① 連結版(SA~SC)のたわみは、1枚版よりも大きいが、弾性的な挙動は1枚版とほぼ同様であり、補強板の厚さによる違いは見受けられない(図-5)。
- ② SCのたわみ剛性が载荷荷重350kNを越えるあたりから他の供試体より大きくなっている(図-6)。
- ③ どの供試体も荷重200kN~250kN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。
- ④ 終局耐力は、ほぼ1枚版と同様であった(表-7)。
- ⑤ 連結版・1枚版とも最終的に押し抜きせん断破壊を生じたが、連結版の押し抜きせん断破壊面は、荷重载荷側のみに見られた。

(2) 疲労試験

- ① 間詰め部に40万回程度でヘアクラックを

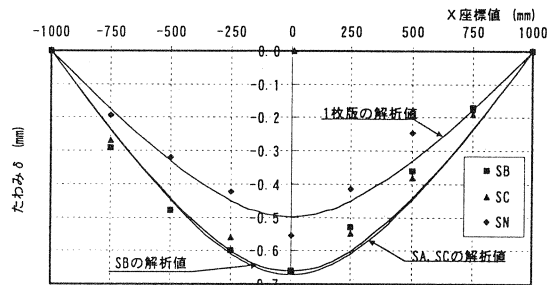


図-5 支間方向たわみ分布図

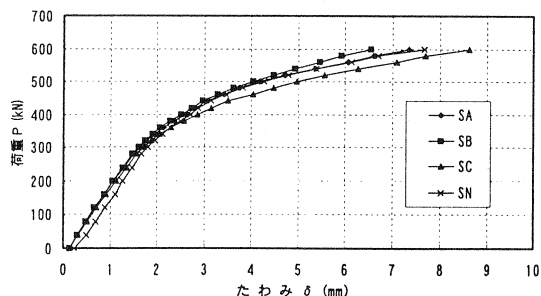


図-7 荷重-たわみ曲線

- 生じたが、100万回まではほとんど変化なし。
- ② 荷重を140kNから200kNに増加させた時点で床版部にクラックが生じた。
 - ③ 繰り返し荷载に伴い、クラックが放射状に徐々に増加したが、たわみの増加はあまり見受けられなかった。また、荷重荷载側補強板とモルタル部の離間が目視できるようになったが、設計荷重の1.5倍での200万回の繰り返し荷载において、連結部の異常は認められなかった。
 - ④ 220kNでの200万回終了後で荷重を290kNに増加させたことにより、間詰め部に橋軸方向クラックが発生した。また、荷载荷重の反対側の補強板とモルタル部の離間が目視できるようになった。
 - ⑤ 繰り返し荷载に伴い、クラックの進展およびたわみの増加率が大きくなった。また、水平ずれが目視できるようになった。
 - ⑥ 250万回以降急激にクラックに進展、たわみの増加、水平ずれが大きくなった。
 - ⑦ 最終破壊は、静的荷载試験と同様押し抜きせん断であった。

表-7 終局耐力の対比

供試体	破壊荷重	終局耐力 (kN)	
		土木学会	松井式
SA	710	543	670
SB	680		
SC	665		
SN	700		

6. 2 輪荷重荷载試験

- ① 図-7に床版支間中央部のたわみ-走行回数関係を示す。FA、FBは、鋼板と無収縮モルタル間に500回程から貫通ひび割れが生じているが、荷重の増加によるたわみの増加は見られない。また、継手部に貫通鉄筋を用いたFBは、FAのたわみに比べ、約10%程度大きくなった。
- ② SA、SB、SCの床版部分では、主に橋軸直角方向に、継手部では、主に橋軸方向にひび割れが発生した。床版部は、橋軸直角方向PC構造、橋軸方向RC構造であるため、床版部に橋軸方向のひび割れ発生しなかったと考えられる。継手なしのFNには、橋軸直角方向ひび割れは発生しなかった。
- ③ 床版中央に取り付けたゲージと3軸ゲージから動的および静的から得られた結果（開き、ずれ、段差）を図-8に示す。結果を見ると、開きが約0.35mmで安定していることがわかる。また、ずれと段差がそれぞれ0.25mm、0.15mmであった。
- ④ 床版中央より走行範囲の半分、すなわち50cm離れた点に荷载したときの荷重直下の位置にある主鉄筋と反対側パネルの同位置での鉄筋ひずみの変動結果を図-9に示す。その結果、両者鉄筋の間に継手が

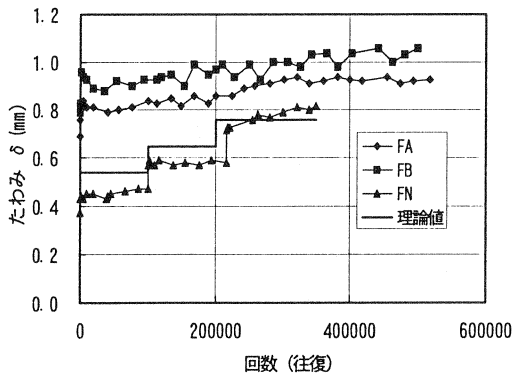


図-7 たわみ-走行回数

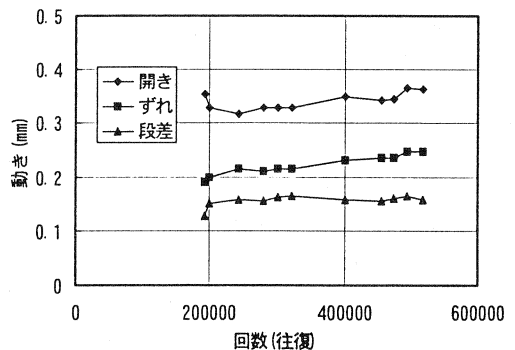


図-8 継手部の動き

あっても、非載荷側にもひずみが発生していることから、確実にせん断力が伝達しているものと考えられる。

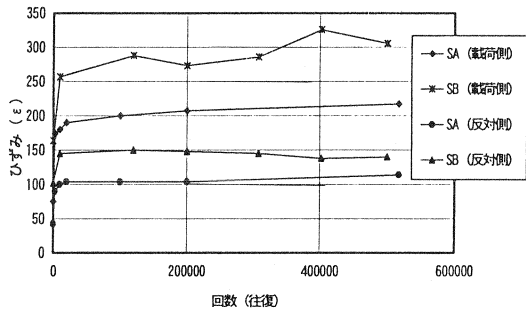


図-9 1/4 載荷による主鉄筋ひずみ

7. まとめ

3種の実験の結果得られた成果を以下のようにまとめる。

- ① 終局状態は、押し抜きせん断であり1枚版と同等の耐力を有した。
- ② 補強板厚による差異は見られなかつたことより、補強板は $t=12\text{mm}$ を用いる。
- ③ 継手部のずれおよび段差は、自動車の走行性や舗装への影響に関して許容されるものと考えられる。よって、STスラブの疲労耐久性はあり、継手機能を十分保持していると評価できる。ただし、貫通ひび割れを完全に防止することは困難であるので、防水工の設置が必要であると考えられる。

8. おわりに

今回の実験は、実物大プレキャスト床版を用いた定点載荷試験および、輪荷重走行試験を行い、継手部の十分な耐久性を確認した。また、継手部の耐荷機構を明確化および、構造改革を考えるため梁供試体によるせん断試験も行っているが、別の機会に報告したい。

最後に、STスラブの開発にあたり、多大なるご指導を賜った大阪工業大学短期大学部・梶川靖治教授ならびに実験開発にご尽力いただいた各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレキャスト床版設計施工マニュアル，1994. 3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I・II・III，1996. 12
- 3) 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.
- 4) 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.133-141，1984
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），1996. 3
- 6) 梶川・松川・児島・渡辺・大石：頭付きスタッドを連結継手に用いたプレキャスト床版の静的挙動，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.203-208，1995. 11
- 7) 松井・金・樋口・高谷：頭付きスタッドを連結継手に用いたプレキャスト床版の耐久性に関する研究，平成10年度土木学会関西支部年次学術講演会，1998. 5