論文 床版取替に向けた半連続プレキャスト床版構造の検討

北 慎一郎*1・櫻井 信彰*2・前川 宏一*3・松井 繁之*4

要旨: プレキャスト PC 床版の継手構造としてループ継手があるが,床版厚の薄い場合に適用できず,また継手 部施工に時間と技能工を要するといった課題がある。床版用継手としてこれらの課題を解消した,セメント系 充填材のみを用いる構造を新たに考案した。この構造に対して,充填剤の剛性及びプレキャスト床版との界面 の状態をパラメータとして輪荷重または地震荷重による挙動について解析的な検討を行い,安全性・耐久性・ 走行性の点で実現可能であることを確認した。

キーワード:プレキャストPC床版,継手構造,FEM解析,充填材

1. はじめに

我が国の高速道路は高度経済成長期に建設された高 架橋形式が多く、東・中・西日本高速道路㈱が管理する 橋梁において供用後30年以上を経過した橋梁の割合が 約4割ある。これらは供用後の経過年数に加えて車両の 大型化などの使用環境の変化や,積雪寒冷地の供用延長 の増加といった維持管理上の問題などにより,老朽化の 進展並びに変状の発生が顕在化しており,大規模更新・ 大規模修繕が計画されている。特に RC 床版は疲労劣化 が顕著であるため,約230kmの取替工事が見込まれてい る¹⁾。

取替対象となる高速道路は重交通路線であり,工事に よる交通への影響を最小化するために,取替工事は短期 間で高品質の設計施工が要求される。

現計画ではプレキャスト PC 床版をループ継手で接続 する工法が標準的なものと想定されている。しかし、こ の工法には①継手部における鉄筋の曲げ加工の制約に より床版厚が薄い場合に適用できない、②継手部の施工 に多くの時間を要する、③一度に複数の技能工を集める 必要がある、といった課題がある。そのため、各社で様々 な継手構造が提案されている²⁾。

筆者らは、この継手構造にセメント系充填材のみを用 いる新しい構造を考案した。本稿ではその新しい継手構 造のコンセプトと解析的検討を行った結果について報 告する。

2. 半連続プレキャスト床版構造

継手構造を簡略化して,短工期に施工した事例として, 角形鋼管をせん断キーとして用いる構造や,無収縮モル タルで接合する事例等が挙げられる^{3),4)}。しかし,これ らは床版支間方向のみの異方性床版として設計してお り,道路橋で用いる場合,等方性版に比べ床版厚の増加 や主鉄筋量の増大は避けられない。

筆者らは本体となるプレキャスト PC 床版のコンクリ ートより、ヤング係数が低い充填材を用いることで、工 期短縮とループ継手の省略による脱技能工化を図り、か つ従来の二辺単純支持等方性版と同様な設計を適用で きる床版構造を考案した。

提案構造を成立させるための技術課題として、①パネ ルの安全性・耐久性、②継手部の安全性・耐久性、③継手 部の走行性、④主桁系断面力に対する影響が挙げられる。 これらの解決のため、まず床版構造について有限要素解 析による充填剤の剛性、プレキャスト床版間継手の界面 の状態をパラメータとした解析を行った。各種要因がパ ネルに作用する応力度とパネル間段差に与える影響に ついて検討し、①、②、③を解決するための条件を導いた。 次に、主桁構造を含めた有限要素モデルを用い、従来構 造と提案構造における変位量の違いを調査し、④が大き くないことを確認した。

3. FEM 解析による床版作用に関する検討

(1) 解析モデルの概要

解析に用いたモデルを図-1・図-2に、材料諸元を表-1 に示す。モデル化した試験体の概要は全幅2.8m,床版支 間2.5m,長さ4.5m,版厚は0.2mで,2辺単純支持である。 比較のため,継手が存在しない連続床版モデルと,長さ 方向に1.5m間隔で図-3に示す継手構造を持つ半連続床 版モデル,1.5m間隔で平滑な断面で分断された非連続床 版モデルを作成した。輪荷重を想定した P=157kN(載荷 面 0.5mx0.4m)をパネル支間中央,橋軸方向中心から前後 1.5mの範囲に載荷した。

本解析は各種影響要因分析のための比較検討を行う

*1新日鉄住金エンジニアリング(株) 事業創出センター (正会員)
*2新日鉄住金エンジニアリング(株) 事業創出センター (正会員)
*3東京大学大学院 工学系研究科 教授 工博 (正会員)
*4大阪工業大学 構造実験センター 客員教授 工博 (正会員)

ものであり,設計基準類の規定を無視し,等質・等方性床 版をモデル化した。ソリッド要素を用い,また対称性を 考慮し中心線より片側半分のみをモデル化した。コンク リートのひび割れは考慮しないものとした。

また,本解析では継手部の接合状態の再現が重要である。図-3・表-2に示す通り,充填材とプレキャスト床版 との界面で対になる節点同士には連結バネ要素を設定 し,付着力を開口方向とせん断方向に分解し,以下の3つ の状態を表現した。

- 完全剛結状態:界面の剥離がなく健全な状態であり,荷重伝達の損失がない状態。
- ② 引張無視状態:開口方向の付着力が失われ,部材間のせん断力と圧縮力は伝達できるものの,引張力が伝達できない状態。
- ③ 界面剥離状態:開口方向・せん断方向ともに付着 力が失われ,部材間の圧縮力のみが伝達できる状 態。



図-1 継手を有しない連続床版モデル概要



図-2 継手構造を有する半連続床版モデル概要



表-1 解析に用いた材料諸元

項目	弹性係数	ポアソン比
プレキャスト床版	$2.5 x 10^4 N/mm^2$	0.167
充填材	2. $0x10 - 2.0x10^4 \text{ N/mm}^2$	0.167

表-2 充填材とプレキャスト床版の接合状態

	$K_X = \infty$
完全剛結状態	Ky = ∞
	$K_Z = \infty$
	Kx = 0 (引張時),∞(圧縮時)
引張無視状態	Ky = ∞
	$K_Z = \infty$
	Kx = 0 (引張時),∞(圧縮時)
界面剥離状態	Ку = О
	$K_Z = 0$

(2) 解析結果 -応力度についての考察-

床版支間方向の一方向ひび割れは一般的な RC 床版の 劣化損傷の起点となる⁵⁾。 提案構造は図-4 のように, 充填材の弾性係数を低下させることで,橋軸方向引張応 力を低下させ,床版支間方向のひび割れ発生を遅延させ る効果が期待できる。確認のため,図-5 に示すようにパ ネル中央に載荷した際の,パネル下面に発生する応力度 について着目し,表-3 にあるパラメータで解析を行った。 継手の隙間幅は,セメント系充填材の充填性を考慮して 最小値を 10mm に,標準値は 20mm とした。最大値は製作 誤差や施工誤差を考慮して 40mm とした。



Y:床版支間方向 X: 橋軸方向 **教荷面** パネル下面 着目要素

図-5 載荷面と着目した要素の位置図

表-3 解析パラメータ				
パラメータ 1: 界面の状態	完全剛結状態			
	引張無視状態			
	界面剥離状態			
パラメータ 2: 充填材の弾性係数 E _c	$2.0 x 10^4 N/mm^2$			
	$2.0 \mathrm{x} 10^3 \mathrm{N/mm^2}$			
	$2.0 \mathrm{x} 10^2 \mathrm{N/mm}^2$			
	2.0x10 N/mm ²			
パラメータ 3:	10mm			
継手の隙間幅	20mm			
С	40mm			







図-7 床版支間方向の応力度分布例





橋軸方向・床版支間方向の応力度分布の例について, 図-6・図-7 に示す。当然のことながら,半連続床版モデ ルの応力度分布は,連続床版モデルと非連続床版モデル の間に位置する。また,連続床版モデルに作用する応力 度を1とした時の各ケースの応力度比を図-8・図-9 に示 す。この図から,

- 界面剥離の影響は大きく,界面剥離が発生すると 床版支間方向の応力度は最大で5割程度増加する。
- ② 界面剥離のケースを除くと、橋軸方向の応力度は 最大1割程度低下し、床版支間方向の応力度は最 大3割程度増加する。

床版支間方向の応力度増加が3割程度であれば,例え ば図-10のように主鉄筋のピッチを変更するのみでRC断 面が構成できる。

以上より,半連続プレキャスト床版構造は,界面が剥 離しない場合は,主鉄筋量を若干増やすことで従来構造 と同等以上の強度・耐久性を発揮できると考える。

(3) 解析結果 -段差量についての考察-

提案構造では床版パネルと充填材の弾性係数が異な り,充填材部には鉄筋もないため段差が発生する。段差 の許容値としてどの程度が適切かは,走行性だけでなく 防水層や舗装の耐久性も考慮する必要があり,今後の課題である。本稿では仮に段差量の許容値を0.1mm程度として,許容値に収まる継手部の条件を検討した。

図-11 のとおり,パネル端部に載荷した際のパネル上 面に発生する鉛直変位量に着目した。段差量は隣接パネ ルの両端部における,鉛直変位量の差分と定義した。

橋軸方向の鉛直変位分布の例を、図-12 に示す。応力度 と同様、半連続床版モデルの変位分布は、連続床版モデ ルと非連続床版モデルの間に位置する。また、段差量に 着目し、各ケースを整理したのが図-13 である。この時、

- ① 界面剥離の影響は大きく、付着せん断力が失われると弾性係数や隙間幅に関係なく段差は大きくなる。
- ② 充填材の弾性係数と隙間幅の影響は少なく,界面 剥離が発生しない限り,弾性係数が 2.0x10²N/mm² 以上,隙間幅 40mm 以内であれば許容値に収まる。

以上より,半連続プレキャスト床版構造は連続床版と 異なり段差が発生するものの,適切な充填材の選定によ り,走行性に影響しない範囲の段差量に収まることを確 認した。



図-11 載荷面と着目した節点の位置図



図-12 橋軸方向の鉛直変位量分布例(完全剛結状態)



図-13 パネル端部に発生する段差量



図-14 実橋断面図



図-15 実橋平面図





図-17 地震荷重載荷範囲





図-18 3径間連続非合成鈑桁橋モデル概要

項目	弾性係数	ポアソン比
プレキャスト床版	$2.5 \mathrm{x} 10^4 \mathrm{N/mm^2}$	0.167
充填材	2.0x10 - 2.0x10 ⁴ N/mm ²	0.167
主桁		
垂直補剛材	$2.0 \mathrm{x} 10^5 \mathrm{N/mm^2}$	0.300
対傾構		

表-4 材料諸元

4. FEM 解析による桁作用に関する検討

(1) 解析モデルの概要

前章では適度に剛性が低い充填材を用いることで,提 案構造が成立することを確認した。本章では提案構造を 採用した場合の桁への影響について,L 荷重及び地震荷 重を作用させ,鉛直変位と水平変位に着目して検討した。

本検討では図-14・図-15 に示した昭和 50 年 2 月道路 橋示方書で設計された 3 径間連続非合成鈑桁橋を対象と した⁶⁾。 解析にあたってプレキャスト床版はソリッド要素,主 桁・垂直補剛材は板要素,対傾構は棒要素で表現し,表-4 に示す材料諸元を用いてモデル化した。

本解析でも連続床版モデルと半連続床版モデルを作成し、比較を行った。荷重条件はL荷重をG1桁中央径間/支間中央部に載荷し最大正曲げモーメントを発生させるケースと、水平震度Kh=1.0とした場合の慣性力を各要素に作用させたケースの2つとした。これらの条件で、表-3にあるパラメータで解析を行った。但し、継手の隙間幅は10mmで固定した。

(2) 解析結果

 E_c =2.0x10³N/mn²の場合,L荷重を載荷した際にG1桁上 部フランジで発生する鉛直変位を図-19に示す。界面剥 離を発生させない限りは,従来構造とほぼ同様の挙動を 示すことが確認できる。次に地震荷重を載荷した際にG1 桁上部フランジで発生する水平変位を図-20に示す。こ ちらも完全剛結状態か引張無視状態であれば,従来構造 とほぼ同様の挙動を示す。界面剥離状態は、プレキャス ト床版1枚の単純梁モデルに近い状態になっており,床 版による荷重分散効果が低くなるため,他の状態と大き く異なる挙動を示したと考える。

各ケースの最大変位量を整理し,連続床版モデルに発 生した変位量を1とした場合の変位比率を図-21・図-22 に示す。これらの結果から以下が言える。

- 界面剥離が桁の変位に与える影響は大きく、L荷 重載荷、付着せん断力が失われると従来構造の2 割以上大きい鉛直変位が発生する。
- ② 充填材の弾性係数が 2.0x10²N/mm²以上で,界面剥

離がない場合は従来構造との差異は小さい。





図-20 桁に発生する水平変位(地震荷重載荷時)



図-21 桁に発生する鉛直変位の比率(L荷重載荷時)



図-22 桁に発生する水平変位の比率(地震荷重載荷時)

- 5. まとめ
 - ① 半連続プレキャスト床版構造を考案し、継手充填 材として床版本体より弾性係数が1/10~1/100程 度低い材料を用いれば、床版支間方向は従来構造 に比べ2割程度の応力度比上昇に抑えられ、鉄筋 量の若干増で構成できる。
 - ② 床版本体より弾性係数が 1/10~1/100 程度低く, 界面剥離を生じさせない程度に付着せん断力を 有する継手充填材を用いた場合は,防水性や舗装 に有害な変形は生じない。
 - ③ 上記のような継手充填材を用いた場合、橋梁鈑桁 に発生する変位は従来構造に比べ最大1割程度 であり、有害な変形は生じない。

6. おわりに

今回の解析的検討により,本提案構造は充填材と本体 プレキャスト床版の界面の付着せん断力が重要であり, 今後は充填材の付着せん断性能の検討をするなど,基本 的な要素試験を行う予定である。

参考文献

- 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関す る技術検討委員会報告書,2014.1.22.
- 例えば、阿部浩幸ら:プレキャストPC床版の新しい RC 接合構造に関する研究、コンクリート工学年次論 文集、Vol. 29, No. 3, 2007.
- 水木彰:プレキャスト床版を用いた歩道橋の設計, 川田技報 Vol.9/JAN., 1990.
- 4) 斎藤雅充ら: プレキャスト床版により合成構造化された既設鋼鉄道橋の構造性能, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 2, 335-344, 2013.
- 5) 松井繁之:道路橋床版 設計・施工と維持管理,森 北出版(2007).
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説,1972
- 7) 藤山知加子ら:3次元非線形 FEM 解析に基づく移動 荷重下の鋼・コンクリート合成床版破壊過程の考察, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 70, NO. 2, 227-237, 2014.