

半断面施工のPC床版のフェールセーフ機能を有する縦目地部の性能確認試験

オリエンタル白石(株)本社 正会員 ○大谷 悟司
 オリエンタル白石(株)本社 正会員 齋藤 幸治
 中日本高速道路(株)八王子保全サービス・センター 浦野 悟

キーワード：半断面施工，PC床版，縦目地部，フェールセーフ機能

1. はじめに

高速道路における半断面施工のプレキャストPC床版は、橋軸直角方向にモルタル目地を有した接合（以下、「縦目地」という）部を設け、ポストテンション方式の横締めPC鋼材（以下、「ポステン鋼材」という）によりプレストレスを導入し、一体化が図られている（図-1）。

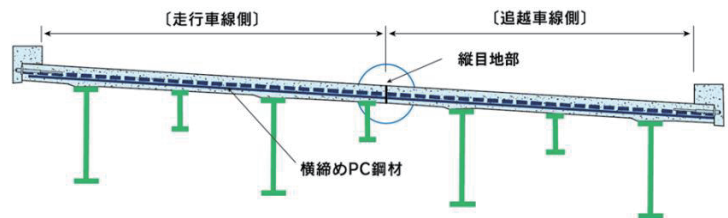


図-1 半断面施工におけるプレキャストPC床版

このような半断面施工における橋軸直角方向の縦目地部は、主桁上あるいは、橋軸直角方向曲げモーメントが最小となる位置に設けるのが一般的である。後者の場合、縦目地部の直下には何もない状態であり、万が一、ポステン鋼材が破断した場合に、縦目地部において、輪荷重によるせん断力に抵抗させるためのフェールセーフ機能が必要になる場合がある。

そこで、筆者らが提案したこの機能を有するせん断キーを用いた縦目地部¹⁾に対し、輪荷重の繰返し載荷による曲げ疲労性能および、ポステン鋼材の状態による押抜きせん断耐荷性能を確認するため、実橋を模擬した試験体を用いて、前者は200万回繰返し試験を、後者は押抜きせん断試験を行った。また、200万回繰返し試験後の縦目地部の曲げ耐力を確認するため、破壊まで静的載荷試験を行った。本稿は両者の試験概要および結果の一部を紹介する。

2. 縦目地構造

フェールセーフ機能を有するせん断キーを用いた縦目地部は、分割されたプレキャストPC床版を一体化するポステン鋼材を配置するシースに着目して、縦目地部を含むシース部分の一部を鋳鉄（材質：FCD450）の2重管構造（外側鋼管の内側および内側鋼管の外側にねじ切りを施した鋼管）とした¹⁾。図-2に縦目地部のせん断キーを含む構造の詳細を示す。

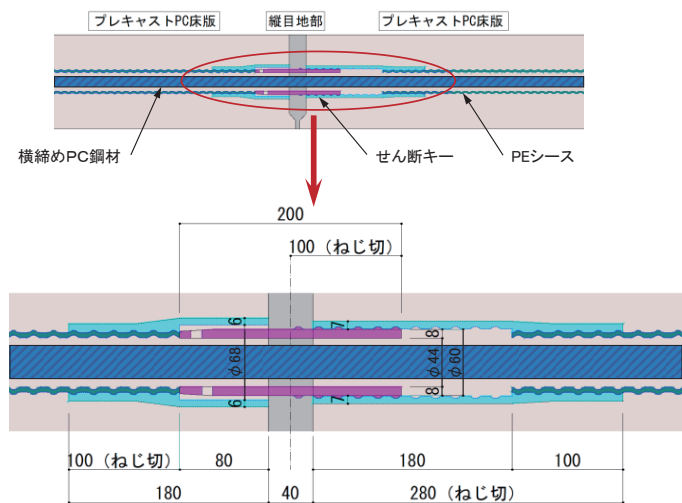


図-2 縦目地構造の詳細

輪荷重によるせん断力は、図-2に示した縦目地部を跨ぐ内側鋼管にすべて負担させるものとして、この鋼管の形状寸法（鋼管外径：60mm，内径44mm，厚さ8mm）を決定した。

また、縦目地部の施工は、お互いのプレキャストPC床版を敷設した後に行うため、内側鋼管を回転させることで移動し、所定の位置に配置できるような構造とした。

3. 試験体

3.1 概要

試験体一覧を表-1に示す。No. 1, 2は200万回繰返し試験および、その後の静的載荷試験の試験体であり、No. 1は縦目地部が無い一体構造としNo. 2と同じ値のプレストレスを導入した。No. 2は図-2に示した縦目地構造とし、お互いの床版を一体化させるため、ポステン鋼材にて、3.2にて決定するプレストレスを導入した。No. 3, 4は押抜きせん断試験の試験体であり、No. 3, 4とも図-2に示した縦目地構造とし、No. 3はお互いの床版を一体化させるため、ポステン鋼材にて、3.2にて決定するプレストレスを導入した。No. 4はポステン鋼材を配置せずグラウトのみ充填した。これは縦目地部でPC鋼材が破断していることを想定した。また、押抜きせん断破壊が先行するように、床版部にはプレテンション方式のPC鋼材（以下、「プレテン鋼材」という）にて、3.2にて決定するプレストレスを導入し曲げ耐力を向上させた。いずれの試験体ともコンクリート強度は70N/mm²とし、配筋は同じとした。

3.2 設計

高速道路における一般的な床版支間、取替えに用いられるプレキャストPC床版の標準的な床版厚、半断面施工における床版の活荷重の作用状態を用いて、モデル橋梁（4主桁を有する単純鋼鈹桁橋、床版支間：3.2m、床版厚：220mm）を設定し、道路橋示方書Ⅲ（平成29年11月）に従って床版の設計を行った。設計は、死荷重および活荷重（以下、「設計荷重」という）による曲げモーメントに対して、床版では限界状態1および、疲労に対する耐久性能を満足するように、縦目地部では全圧縮となるように必要なプレストレス（プレテン鋼材およびポステン鋼材の種類、間隔）を決定した（表-1）。

3.3 形状寸法

200万回繰返し試験体（No. 1, 2）は、設計にて決定したポステン鋼材の間隔および、200万回繰返し試験に用いる疲労試験機の幅から試験体の幅を決定し、この幅を用いて計算した設計荷重による曲げモーメントに対して、試験体の縦目地部が全圧縮となるようにポステン鋼材の緊張力を決定した。なお、200万回繰返し試験は縦目地部に着目しているため床版部にはプレテン鋼材を配置していない。試験体の長さはこれまでの試験²⁾を参考に2,840mmとした。

押抜きせん断試験体（No. 3, 4）は、設計にて決定したプレテン鋼材、ポステン鋼材の間隔および、載荷試験に用いる載荷フレームが耐えられる荷重を載荷できるスパンから試験体の幅を決定し、この幅を用いて設計に必要なプレストレスを、床版部および縦目地部に導入できるようにプレテン鋼材およびポステン鋼材の緊張力を決定した。試験体の長さはプレテン鋼材によるプレストレスが、支承位置で100%有効となる距離（65φ=65×15.2=988mm）を考慮して3,900mmとした。

表-1 試験体一覧

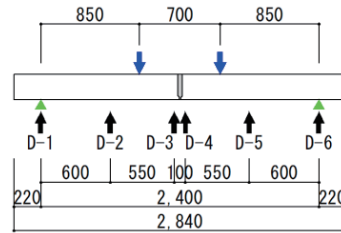
No.	床版寸法		載荷方法	PC鋼材の種類および配置		鉄筋の種類および配置	
	厚さ	幅		床版部	縦目地部	軸方向	軸直角方向
	mm						
1	220	1,125	200万回繰返し載荷	φ 28.6-3@375	—	2-D22@150	2-D13@375
2				φ 28.6-3@375			
3		2,100	押抜きせん断載荷	φ 15.2-2×10@187.5	φ 28.6-5@375		
4				φ 28.6-5@375			

注) No. 1は縦目地部がない一体構造、No. 4はポステン鋼材を配置せずグラウトのみ充填
φ 28.6：ポステン鋼材， φ 15.2：プレテン鋼材

4. 載荷試験

4.1 200万回繰返し試験

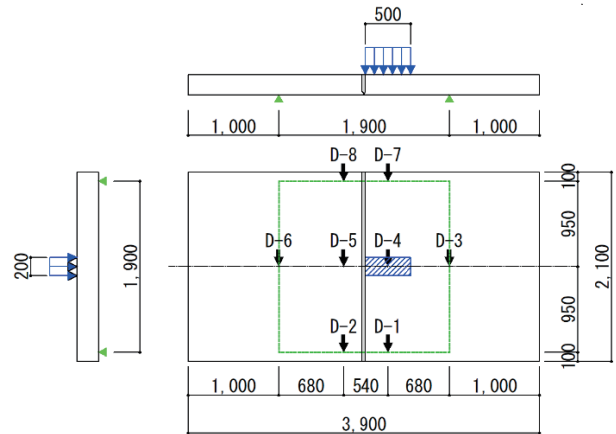
疲労試験機を用いて、2点載荷としスパンを2400mm、等曲げ区間を700mmとした。載荷方法を図-3(a)に示す。載荷荷重は活荷重による曲げモーメントが同図で示したスパンで得られる荷重を上限とした。また、下限荷重はこれまでの試験²⁾を参考に試験に支障のない最低荷重とした。上限、下限荷重はそれぞれ92kN、10kNである。繰返し回数は200万回とした。載荷速度は3~8Hzとし、試験途中で実施する静的載荷試験と、その後の繰返し載荷試験が連続的にできるように適切に設定した。繰返し試験途中の静的載荷試験は、繰返し回数が1, 2, 3, 10³, 10⁴, 10⁵, 10⁶, 2×10⁶回(以下、「各繰返し回数」という)において実施した。また、200万回繰返し試験後の縦目地部の曲げ耐力を確認するため破壊まで単調載荷をした。測定は、変位、コンクリートひずみ、ひび割れ幅、せん断キーのひずみとした。本稿は変位を用いた考察のみ紹介するため、同図には変位計測の位置をD-1~D-6の矢印で示す。



(a) 200万回繰返し試験

4.2 押抜きせん断試験

載荷フレームを用いて、載荷幅を500mm×200mmの長方形とし、載荷位置は縦目地部と床版の境界から縦目地直角方向に500mmとした。支承間は1,900mmとし、4辺単純支持とした。載荷方法を図-3(b)に示す。載荷は先ず、活荷重の100kNを3回繰返し載荷し、その後、破壊まで単調載荷を行った。測定は、変位、せん断キーのひずみとした。本稿は変位を用いた考察のみ紹介するため、同図には変位計測の位置をD-1~D-8の矢印で示す。



(b) 押抜きせん断試験

図-3 載荷方法および変位の計測位置

5. 試験結果

5.1 200万回繰返し試験

図-4にNo. 1, 2の200万回繰返し載荷時に実施した各繰返し回数における、下限荷重および上限荷重の変位の推移を示す。変位は図-3(a)に示した中央付近に設置したD-3の値を用いた。なお、図-4の変位は、各繰返し回数における載荷試験時の支点変位を用いて補正した値(図-3(a)のD-1とD-6の平均値をD-3の計測値から差し引いた値)とした。また、図-4には、下限荷重および上限荷重におけるコンクリート断面のみの剛性を用いて計算した変位を破線で示す。

図-4より、上限荷重における変位のバラツキはあるが、概ね一定で推移していることから、No. 1, 2とも弾性挙動を示し、活荷重の200万回繰返しによる大きな変位の変動がなく、剛性の低下は見られない。上限荷重におけるNo. 1, No. 2の変位は、コンクリート断面のみの剛性を用いて計算した変位より小さい値である。特に、No. 2の変位はNo. 1に比べて小さく、提案したせん断キーを配置し、グラウトを充填することで、せん断キーが曲げ剛性の向上に寄与していると考えられる。

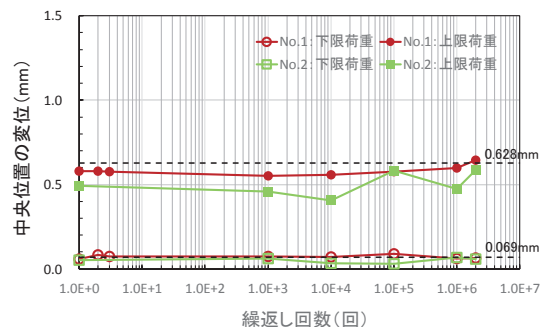


図-4 変位と繰返し回数の関係

図-5に200万回繰返し試験後に破壊まで静的荷重したNo. 1, 2の荷重と変位の関係を示す。同図には, No. 1, 2のそれぞれの最大荷重を, 荷重と変位の関係の曲線上に同じ色の丸点で, また設計値を用いて計算したNo. 1の限界状態3の制限値を破線で示す。

図-5より, No. 1とNo. 2は同様な挙動を示しており, No. 2では縦目地部を有しているが, プレストレスを導入し, グラウトを充填することにより一体構造となっていることが分かる。最大荷重はNo. 1では487.8kN, No. 2では582.5kNであった。最大荷重よりNo. 2はNo. 1の約1.2倍 ($582.50/487.80=1.19$) の曲げ耐力を有している。これは, グラウトの充填により, セン断キーが曲げ耐力の向上に寄与していると考えられる。また, No. 1, 2のそれぞれの破壊荷重は, 道路橋示方書Ⅲに示されているNo. 1の限界状態3の制限値を上回っていた。

5.2 押抜きせん断試験

図-6に荷重と載荷点直下位置の変位の関係を示す。変位は図-3(b)で示した載荷点直下のD-4の値である。なお, 図-6の変位は, 載荷試験時の支点変位を用いて補正した値(図-3(b)のD-3およびD-6の平均値をD-4から差し引いた値)とした。また図-6には, No. 3, 4のそれぞれの最大荷重を, 荷重と載荷点直下位置の変位の関係の曲線上に同じ色の丸点で, また設計値を用いて計算した押抜きせん断力の制限値を破線で示す。

図-6より, No. 3, 4とも荷重の増加とともに変位が増加し, 最大荷重はNo. 3では1,407.4kN, No. 4では1,064.6kNであった。最大荷重に達した後は, No. 3は荷重が急激に減少し, No. 4は緩やかに荷重が減少し, 両者とも押抜きせん断により破壊した。また, いずれの試験体の最大荷重も道路橋示方書Ⅲに示されている押抜きせん断力の制限値を上回っていた。

破壊までの荷重の前に, 活荷重100kNで3回の繰返し載荷を行った。No. 3, 4とも変位が急激に変化するような現象は確認されなかった。また, 縦目地部および床版部のひび割れや, 縦目地部のずれの発生も確認されなかった。

6. まとめ

提案したフェールセーフ機能を有するせん断キーを用いた縦目地構造は, 輪荷重の繰返しに対して十分な曲げ疲労性能および曲げ耐力を有し, 輪荷重の載荷に対して十分な押抜きせん断耐荷性能を有していることが分かった。

最後に, まとめに際しご意見を賜った高速道路総合技術研究所橋梁研究室の長谷室長に感謝いたします。

参考文献

- 1) 齋藤ら, フェールセーフ機能を有する断面分割施工による床版取替工法の解析による検討, 土木学会第73回年次学術講演会, VI-239, pp.477-478, 2018.8
- 2) 例えば阿部ら, 新しいRC接合構造を用いたプレキャストPC床版に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, 2008.1

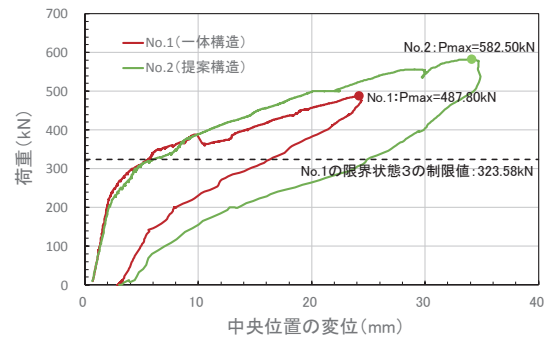


図-5 荷重と変位の関係

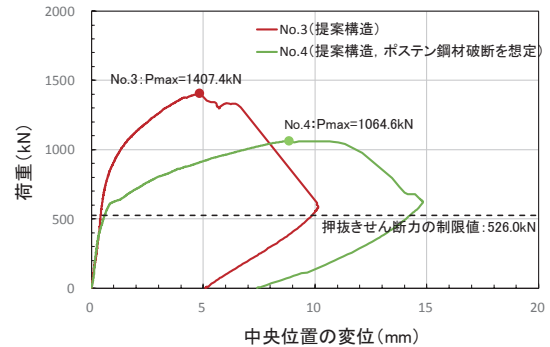


図-6 荷重と載荷点直下位置の変位の関係