

プレストレスジョイントを用いたPCa床版の静力学特性

清水建設(株)	正会員	工博	○輿石	正己
阪神高速道路(株)		工修	新名	勉
清水建設(株)		工修	林	大輔
清水建設(株)	正会員	工修	小林	顕

Abstract : Loop joints have been standardized as a joint system of PCa slab for slab-replacement of regular highways. However, there are still two improvement issues remaining: 1) The slab thickness is decided based on the loop joint's thickness. 2) Time consuming on-site casting job of the loop joint.

The novel "Pre-stressed Joint" system (hereinafter referred to as PSJ) aims to improve the above issues. The main features of PSJ are: 1) Connecting PCa slabs by a wedge mechanism using disc springs reduces site work. 2) By introducing pre-stress into the joint part, durability is improved. 3) By attaching pre-grout resin to the male-side bolt, it is possible to eliminate the grouting work. In this research, mechanical properties of PSJ were verified. After that safety tests against static load at the joint were conducted on an experimental specimen connected by PSJ.

Key words : PCa Slab, Pre-stressed Joint, Pre-grouting Resin , Rapid Construction, High Durability

1. はじめに

我が国では、昭和30年代後半から昭和40年代に建設された高速道路は供用後40年以上が経過しており、一部の橋梁では各種の劣化が顕在化している。このような劣化した構造物を長期的に維持管理していくために、現在、橋梁を対象として、大規模更新・修繕事業が進められている。本稿で対象とするRC床版に関しては、建設後に鋼板接着工法などにより補強されているが、耐疲労性の低下が懸念されるため、追加の補修・補強および取替が検討されている。今後、RC床版の取替を実施するにあたっては、①既設床版と同等以下の重量で、橋梁下部構造および基礎に影響を与えない軽量構造、②更新時の通行止めによる社会的影響、騒音などの環境負荷を抑制できる急速かつ確実性の高い施工方法、③更新した床版における高い耐久性の確保などが求められている。

著者らは、これらのニーズに対応した一方策として、プレキャストPC床版（以下、PCa床版という）の橋軸方向の接合構造に着目した。現状では、橋軸方向の接合構造は、ループ継手を用いた場所打ちのRC構造とし、間詰めコンクリートには、乾燥収縮などによるひび割れの抑制に配慮した膨張コンクリートの充填を標準としている。しかしながら、この場合、①ループ継手部の鉄筋配置により床版厚が決定し、更新の対象とする既設床版と比較して床版厚

が大きくなる、②ループ継手部の配筋、間詰めコンクリート打設・養生など、一定の現場作業を必要とする、③場所打ちRC構造部における長期的な耐久性が懸念されるなど、設計および施工上の改善の余地が認められる。著者らは、場所打ちループ継手を変えてPCa床版を「より速く安全に、より高品質に、より環境にやさしく」実施できるプレストレスジョイント（以下、PSJという、図-1）の技術開発を実施中である。本論文では、PSJの特徴、力学特性およびPSJを用いたPCa床版の静的曲げ性状に関して述べる。

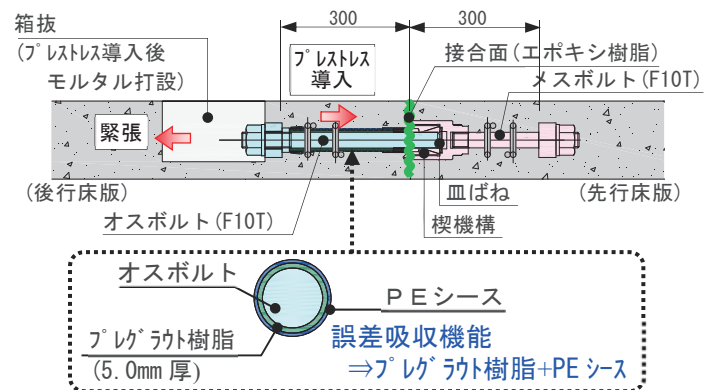


図-1 プレストレスジョイント (PSJ)

2. PSJの特徴

今回、技術開発を行ったPSJ(図-2)は、シールドセグメントのリング間継手(長手方向継手)として使用されているピン挿入型継手の技術をPCa床版に適用させたものである。

PSJはオスボルトをメスボルトに設置された楔に押し込むことでボルトを一体化し、油圧トルクレンチにて緊張することによりプレストレスを導入できる機械式継手である。この際力の伝達は、図-3に示す各部材間のねじ切りにより行なわれている。

PSJを用いたPCa床版(以下、PSJ床版という)(図-4)は、①PCa床版の接合面にPSJを埋込み、床版同士を押し込むことで一体化を図ることにより、PC床版の薄厚化(軽量化)および急速施工が可能となる、②接合部にプレストレスを導入することにより継手部の耐久性が向上する、③オスボルトをPEシースで被覆しプレグラウト樹脂を注入しておく(図-1)ことで必要な可動域を設けることにより施工誤差を吸収できるとともにグラウト作業が不要となるなどの特徴を有する。この際、可動域としてはPCa床版の製作誤差、クリープ、収縮量の違いによる相対変形量および架設時の施工誤差を考慮して5mmとした。

3. PSJの押し込み試験および引抜き試験

3.1 試験方法

PCa床版同士の一体化に用いるPSJのオス側ボルトとメス側ボルトの勘合に必要な押し込み力を確認することおよび嵌合されたPSJが設計引張力に対して十分な強度および剛性を有することを確認するため、押し込みおよび引抜き試験を実施した。

押し込み試験は写真-1に示すようにPSJのオス側ボルトとメス側ボルト(ケース付き)をアムスラー試験機にセットし、オス側ボルトをメス側ボルトケースの設定位置まで押し込み荷重を行い、押し込み荷重と鉛直変位を測定した。また、引抜き試験は、押し込み試験終了後の締結されたPSJの試験体を用いて、写真-2に示すようにメス側ボルトとオス側ボルトの軸方向に引抜き力を与え、その時の引抜き力および鉛直変位を計測した。

引抜き試験の荷重方法としては、設計許容荷重(P_{sa})、設計導入荷重(P_{B0})、オス側・メス側ボルトの設計引張荷重(P_t)で除荷を行う繰返し荷重方式を採用した。

試験終了後のPSJのうち、1体は、継手構成部品を分解することにより構成部品の健全性を確認した。さらに残り2体は最終破断まで引抜き破壊試験を実施し、破壊性状を確認した。

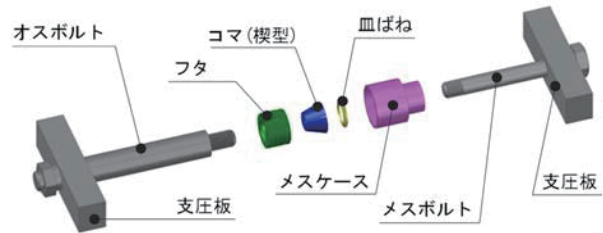


図-2 PSJの構成部品図

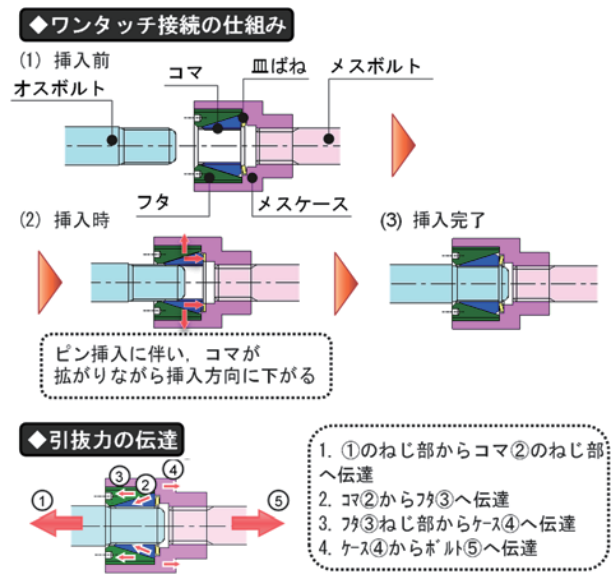


図-3 PSJの接合機構

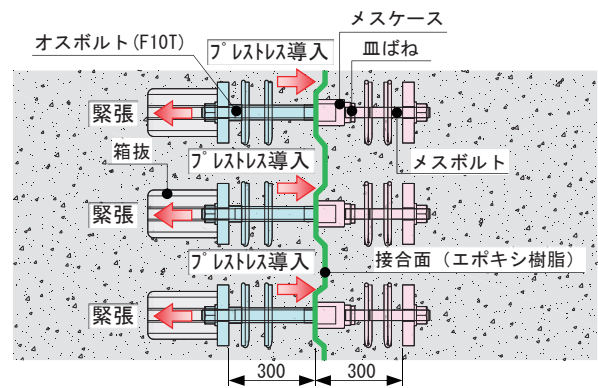


図-4 PSJを用いたPCa床版

3.2 試験結果

押し込み試験結果を表-1, 押し込み荷重と変位の関係を図-5 に示す。押し込み力の最大値は 17kN から 33kN 程度とばらつきが認められるが、押し込み力 20kN から 30 kN までの範囲で押し込みをほぼ完了できる結果であった。図-5 に示すように押し込み力は連続的に上昇、下降を繰り返し、そのピークはオスボルトの細目ねじ加工間隔ごとに発生し、押し込み開始直後から押し込み変位が増加するに従い押し込み力もゆるやかに増加した。

次に、引抜き試験結果を表-2, 引抜き荷重と変位の関係を図-6 に示す。引抜き試験結果より、設計許容荷重 $P_{sa}=432\text{kN}$ が作用する時点の嵌合部の変位は $0.20\text{mm}\sim 0.43\text{mm}$, また設計導入荷重 P_{B0} での嵌合部の変位は $0.27\text{mm}\sim 0.54\text{mm}$ 程度と小さく、目開きは少ないことが確認された。さらに、設計許容荷重 P_{sa} および設計導入荷重 P_{B0} に対して十分な剛性を有することが同時に確認された。

また、各試験体とも設計降伏荷重 $P_y=736\text{kN}$ までは荷重-変位関係は直線関係となり、実降伏荷重は、設計降伏荷重 P_y (公称値) を上回ると判断される。さらに、試験体 No. 1 を設計引張荷重 $P_t=817\text{kN}$ まで載荷した後に嵌合部を分解し観察した結果、とくに異常は認められなかった。試験体 No. 2 および No. 3 の最終破壊荷重は、設計引張荷重 $P_t=817\text{kN}$ を上回る $912\sim 914\text{kN}$ であった。その際の PSJ ボルトの破断位置は、断面積が最も小さい M36 並目ねじ部であった。以上より、PSJ 嵌合部は十分な耐力を有することが確認された。

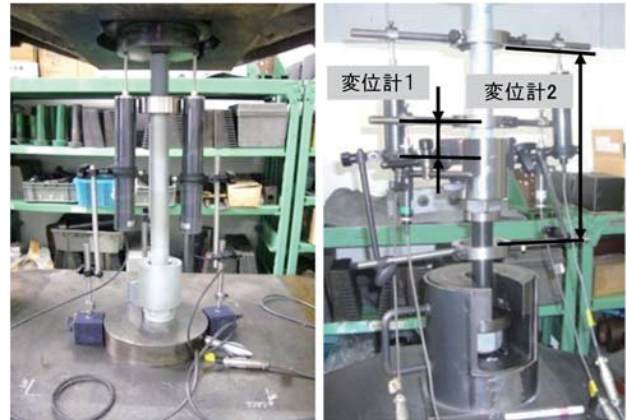


写真-1 押し込み試験状況 写真-2 引抜き試験状況

表-1 押し込み試験結果の一覧

押し込み荷重最大値(kN)			
試験体 No.	No.1	No.2	No.3
最大荷重	32.64	20.61	17.18
最小荷重	6.87	5.15	5.15
平均値	20.88	13.35	9.00

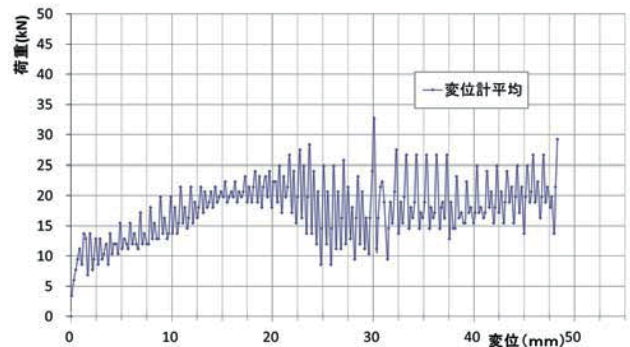


図-5 押し込み試験 荷重-変位図 (No1)

表-2 引抜き試験結果の一覧

鉛直変位 (mm) : 変位計2 (変位計1)			
試験体No	No.1	No.2	No.3
荷重kN			
0	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
100	0.23 (0.07)	0.17 (0.06)	0.29 (0.15)
200	0.39 (0.11)	0.34 (0.11)	0.51 (0.25)
300	0.56 (0.16)	0.50 (0.15)	0.72 (0.33)
400	0.73 (0.20)	0.66 (0.19)	0.90 (0.40)
$P_{sa}=432$	0.79 (0.22)	0.73 (0.20)	0.97 (0.43)
500	0.91 (0.26)	0.83 (0.24)	1.12 (0.51)
$P_{B0}=552$	0.99 (0.28)	0.92 (0.27)	1.22 (0.54)
600	1.07 (0.31)	1.00 (0.30)	1.32 (0.60)
700	1.24 (0.36)	1.18 (0.34)	1.50 (0.65)
$P_y=736$	1.31 (0.38)	1.23 (0.36)	1.58 (0.68)
$P_t=817$	1.47 (0.44)	1.40 (0.40)	1.75 (0.73)
0	0.07 (0.04)	0.05 (0.09)	0.39 (0.38)
破壊荷重kN (N/mm ²)		914.0kN (1119 N/mm ²)	912.0kN (1116N/mm ²)
破壊箇所		オス側ボルト M36並目ねじ部	オス側ボルト M36並目ねじ部

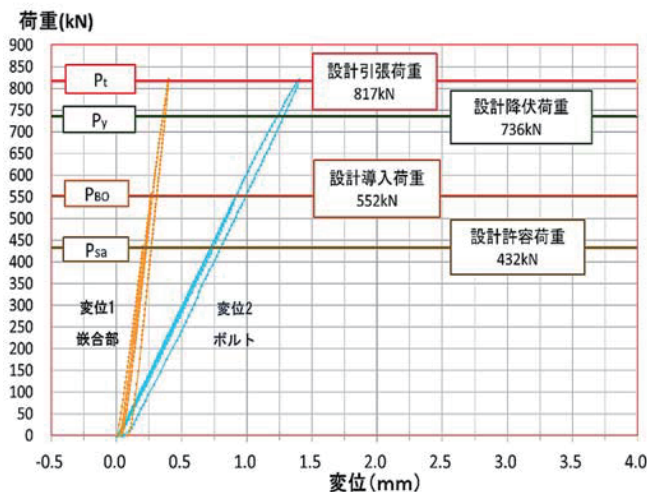


図-6 引抜き試験 荷重-変位図

4. PSJ床版の静的曲げ実験

4.1 実験概要

本実験の目的は、PSJ床版の静的荷重に対する曲げ性状（供用状態、終局状態）を確認することである。具体的には、PSJ床版試験体に対して静的曲げ試験を実施し、ひび割れ性状、曲げ耐力、破壊形態を確認した。

また、接合部の無い通常のPC床版試験体（橋軸方向はRC構造）でも同様の試験を実施し、PSJ床版との比較検討を行った。静的曲げ試験での実験ケースを表-3に示す。コンクリートには早強ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度を70MPa、最大粗骨材径を15mmとした。また、PSJボルトはSCM435（コムリブテン鋼）を用いた高力ボルトであり、その設計降伏応力は900N/mm²とPC鋼材とほぼ同等である。荷重は、支間長さ3,000mmで単純支持した試験体の中央一点に道路橋示方書で示される輪荷重幅（200×500mm）で一点荷重（図-7）を行なった。荷重は、荷重・除荷を繰り返す一方向漸増繰返し荷重で行なった。また、計測項目は荷重荷重、床版試験体の鉛直変位、鉄筋ひずみ、コンクリートの表面ひずみなどである。

4.2 実験結果

実験より得られた一例として荷重 - 変位関係を図-8、図-9にそれぞれ示す。PSJ床版は設計荷重 51 kN ではひび割れは発生せず、P=55kNで継手設置の外側に曲げひび割れが発生した。その後、緩やかな剛性低下を示し続け、最大荷重は設計荷重の4.2倍の212kNであった。最大荷重時にPSJボルトは降伏していなかったため、破壊形式は曲げ圧縮破壊と判断した。この際、上縁側には水平ひび割れが確認された。また、除荷時にはPSJ床版は、PC床版（橋軸方向はRC構造）に比べて残留変位が小さくなる原点指向性が強い挙動を示した。

一方、一体型のPC床版（橋軸方向はRC構造）は、設計荷重以下の50kNで曲げひび割れが発生し剛性低下を示した後、荷重225kNで引張鉄筋が降伏し、最大荷重は設計荷重の4.3倍の284kNであった。破壊形式は鉄筋降伏による曲げ引張破壊であり、PSJ床版に比べて多数のひび割れが確認された。なお、図中の設計荷重はPSJ床版においてはテコンプレッションモーメントを、PC床版においては設計曲げモーメント（B活荷重）をそれぞれ集中荷重に変換したものである。以上より、PSJ床版は従来のPC床版と同等以上の曲げ性能を有し、設計荷重時における接合部のひび割れを防止できることが確認された。

参考文献

- 1)Koshiishi 他 5 名 : Development of a Novel Prestressed Joint System for Precast Slab, fib Congress 2018, October 2018, Melbourne, Australia
- 2)小林・新名・興石 : プレストレスジョイントを用いた PCa 床版の設計, コンクリート工学会年次論文集, 2018. 7

表-3 試験ケース

試験体	寸法(mm)	概要	数量
PSJ床版	3400×1600×180	接合部にPSJでプレストレスを導入	1
PC床版	3400×1600×180	橋軸方向はRC構造	1

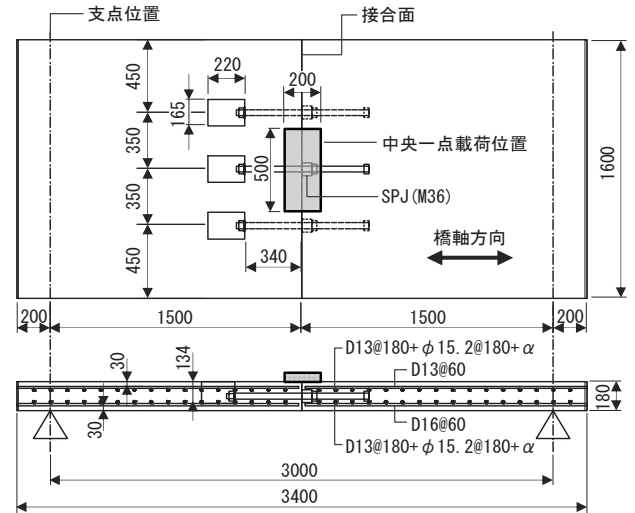


図-7 荷重条件

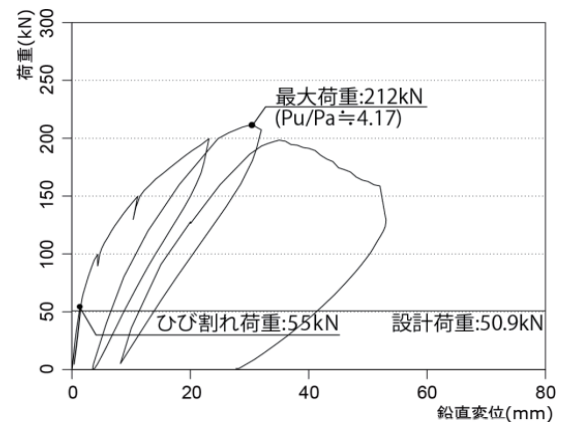


図-8 PSJ床版の荷重-変位曲線

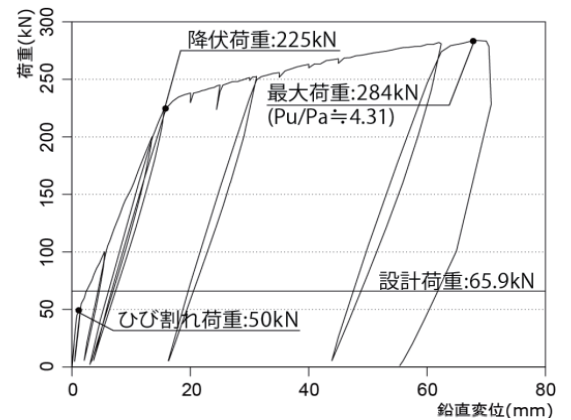


図-9 PC床版の荷重-変位曲線