

プレストレストコンクリートT桁橋の抜け落ち損傷と横締めプレストレスの関係

東京都 建設局 正会員 ○ 高木 千太郎
(社) PC 建設業協会 正会員 工修 二井谷 教治
(社) PC 建設業協会 正会員 渡辺 綾子

1. はじめに

東京都建設局は、現在 286 路線、2,245km の都道を管理しているが、東京オリンピック当時と比較すると総延長で 1.17 倍、総面積で 1.95 倍になっており、増加する道路と比例して橋梁・トンネルなど各種の道路施設も増加し続けている。これら道路施設は、東京オリンピックを契機とする高度経済成長期にかけて構築された施設が多く、イニシャルコストの低減を主要課題として設計・施工を行った結果、耐久性能に不安が残り、長期的な安全性や使用性が危惧される道路施設もある。このような背景の下、管理者は、適切な維持管理と長寿命化対策によって、これら耐久性能に不安のある道路施設の要求性能を向上させ、都民や利用者が常に安全で快適に道路施設を使用することが可能となる交通状況を求められている。

今回、都道において発生したプレストレストコンクリート T 桁橋 (以下、PCT 桁橋) の間詰め床版抜け落ち事例は、過去に関係する報告が少なく、同様な損傷が供用中の道路に発生すると重大事故になることが危惧される損傷である。また、このような損傷を原因として発生する事故は、行政に対する住民の信用を著しく失墜することから、再発防止を目的として発生原因、発生メカニズムなどを明らかにすることとした。

以下に、抜け落ち損傷の原因とメカニズムを解明する目的で行なった室内および実橋実験の概要と解析結果について報告する。

2. 間詰め床版抜け落ち損傷原因の推定

過去に PCT 桁間詰め床版の抜け落ち原因に着目した関連資料はほとんど無いが、これまでの数少ない関連情報から間詰め床版の抜け落ちた主たる原因として推測、整理すると、以下が挙げられる。

- (1) 長期的な安全性や耐久性確保における設計、施工上の配慮不足
- (2) 設計当初の想定を超える大きな外力の作用
- (3) 長期供用および経年によるひび割れ損傷の進行およびコンクリート劣化

抜け落ちた間詰め床版を詳細に調査すると、現行の基準 (標準設計図等) との差異が明確となった。現行の間詰め床版の詳細構造は、PCT 桁と間詰め床版との一体性確保や間詰めコンクリートの補強を目的として鉄筋が配置されている。しかし、今回損傷を発見した年代の PCT 桁に補強鉄筋は配置されていない。

また、間詰め床版の形状は、抜け落ちに抵抗するテーパーが無く鉛直、平滑な形状であることから、橋軸直角方向の締め付け力が減少すれば抜け落ちやすい詳細構造と推測できる。

このようなことから、これまでに挙げた抜け落ちを予測する 3 つの原因と詳細構造の差異について検証することで抜け落ち原因とメカニズムを明らかに出来るものと判断し、それらの究明を目的とした実物大供試体による室内実験を行うこととした。室内実験以外に実橋実験として、損傷が発生した橋や同様な構造での横締めプレストレス確認、および載荷実験等を行なうことによって、室内実験結果を確認することとした。

以下に、今回行なった室内実験および実橋実験についてその概要と結果について述べる。

3. 抜け落ち原因とメカニズム確認のための室内実験

今回、抜け落ちた間詰め床版のコンクリート片から判断すると、活荷重作用による押抜きせん断によって抜け落ちたと推測されるものの、その原因を確定できなかった。そこで、間詰め床版のある PCT 桁橋の実物大供試体を製作し、横締めプレストレス、鋼材配置、横桁などの抜け落ちに関連する要因を考慮した各種の

載荷を実施し、発生ひび割れ幅と発生箇所、破壊に至る挙動、破壊耐力および破壊形態に及ぼす影響等について調査、検証することとした。

間詰め床版に発生するひび割れは、室内実験によると、最初に床版曲げモーメントによって生じる床版部下面の曲

げひび割れと、床版と主桁部との目地の開きが発生した後、間詰め部にずれが生じる。これは、支間中央部で正の曲げモーメント、PC 鋼材位置で負の曲げモーメントが発生することによって、支間中央部で下縁側、PC 鋼材位置で上縁側に曲げひび割れが発生しやすくなる。その後、間詰め床版の抜け落ち、あるいは主桁一部の押し抜きせん断と抜け落ちの複合形式で抜け落ち破壊に至る。これまでに挙げた、ひび割れと床版抜け落ち発生過程について、順を追って模式的に図-1 に示した。

また、今回の室内実験によって明らかとなった抜け落ちに関連する各要因について、供試体別の目視によるひび割れ、目地の開き、間詰め床版のずれとそれぞれの発生荷重、破壊荷重および破壊形態を表-1 に示した。

破壊耐力は、プレストレスが増加するにしたがって大きくなる傾向が見受けられ、プレストレスを横軸、破壊耐力を縦軸にとると、図-2 で判るようにほぼ直線関係となる。実験全体としては、プレストレスが小さい場合は抜け落ち破壊が顕著にみられ、プレストレスが大きくなるにしたがって押し抜きせん断による破壊形態の要素が加わってくる傾向が明らかとなった。また、設計通りのプレストレスであれば、荷重載荷幅が設計値の 1/2 であったとしても、設計輪荷重 100kN の 3 倍程度の耐力を有する結果となり、横締め力と摩擦抵抗が抜け落ちを防止することが裏付けられる結果となった。端部に床版の挙動を拘束する横桁や打ち下ろした支承がある場合は、拘束を受けない場合と比較すると破壊耐力は若干小さい傾向を示し、拘束がプレストレスに何らかの影響があるように思えた。一方、PC 鋼材 2 本のうち片方のみを緊張した場合は、予想と反して破壊耐力が大きい結果となった。

今回の実験によって、写真-1、写真-2 で判るように、抜け落ちた間詰め床版と今回実験を行なった落下片の外観が酷似している S-8 試験体があり、抜け落ちの状況が S-8

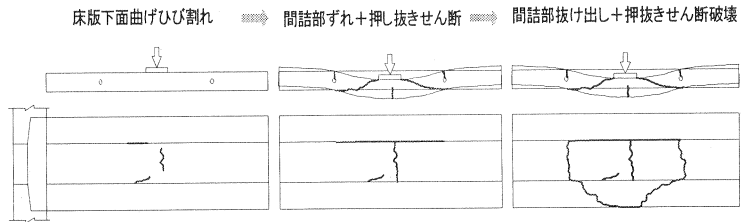


図-1 ひび割れおよび破壊の発生過程

表-1 静的載荷実験結果表

供試体	プレストレス等 (N/mm ²)	目視による発生荷重(kN)			破壊荷重 (kN)	破壊形態
		下面ひび割れ	目地の開き	間詰め部のずれ		
S1	0.5	170 (-)	120	220	220	間詰め部抜け落ちによる破壊
S2	1.5	170 (150)	250	408	612	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S3	1.5 載荷500×200	350 (-)	220	-	-	980kNでも破壊せず
S4	3	300 (-)	500	860	860	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S5	2.7 鋼材c550	270 (-)	500	636	636	間詰め部抜け落ち+プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S6	0.2	170 (-)	240	380	380	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S7	0.75 片側緊張	300 (-)	250 (180)	450	450	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S8	1.5~0.2可変 ロングラウト	230 (180) σe=1.5	370 σe=1.5	174 σe=0.2	174 σe=0.2	間詰め部抜け落ちによる破壊
S9	1.5 片端横桁	240 (140)	400	440	445	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊
S6'	0.2 再実験	100 (-)	100	100	100	間詰め部抜け落ち+一部プレキャスト部の押抜きせん断破壊

注) ()内はゲージからの判断値、σe=プレストレス

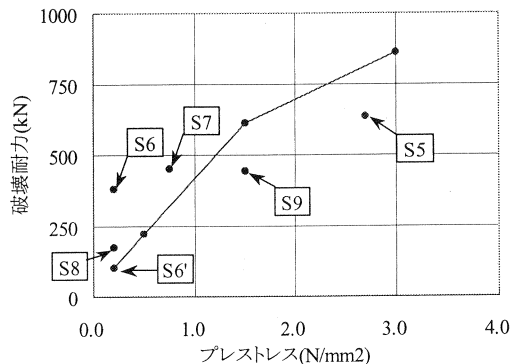


図-2 間詰め床版破壊耐力とプレストレスの関係

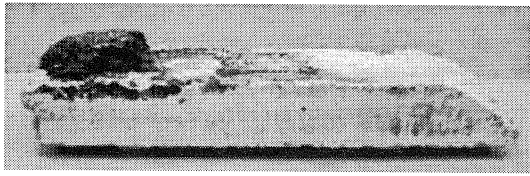


写真-1 抜け落ち間詰め床版コンクリート片

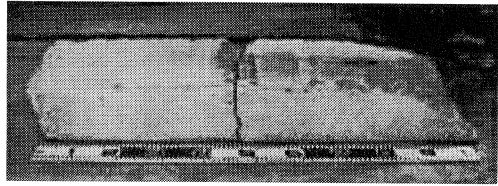


写真-2 S8 供試体抜け落ちコンクリート片

の実験内容と同環境条件で抜け落ちたと推測できる結果となった。

4. 横締めプレストレス確認のための実橋実験

今回の室内実験において、間詰め床版抜け落ちの主たる原因は、当初考えていた設計上や環境上の理由だけではなく、横締めプレストレスの減少も抜け落ちの主原因である可能性が高いと推測する結果となった。

そこで、実橋の横締めプレストレスを測定し、横締めプレストレスの減少が抜け落ちの主原因であるかの確認と実橋の供用における安全性と耐久性を判定することとした。

実橋のプレストレス測定にあたっては、これまで使用されることの多いひずみゲージ法の採用も検討したが、今回は横締めプレストレスが $1.2\sim 1.5\text{N/mm}^2$ であり、コンクリート床版に発生するひずみ(たわみも含む)が微小であることから、計測値が誤差範囲と予測され、原因を確定できる可能性が低い。このようなことから、微小なプレストレスによる値を許容誤差の範囲内で計測できる他の計測方法について検討を進めた結果、フランスでの実績があるフラットジャッキ法 (Advitam 社、SlotStress™) を選択した。

本試験法は、これまで国内での実績が無いことや、解析に使用する係数設定に供試体実験が必要であることなどから室内実験を行い、それぞれについて確認の後、本測定法による計測を行うこととした。

本測定法によって、実橋測定した結果を図-3 に示す。

間詰め床版が抜け落ちた箇所の橋軸直角方向に着目すると測点①、④および⑤では $0.00\sim 0.37\text{N/mm}^2$ とほとんどプレストレスが検出されなかった。また、これらの測点を挟む2本の PC 鋼棒のうちグラウト不良を確認した1本について残存する緊張力について定着部を再度緊張する方法で測定したところ、 $50\sim 80\text{KN}$ と設計値 195KN の $1/3$ 程度であった。このように、測点①、④、⑤のプレストレスがほとんどゼロであること、②、⑥が設計値に比べてかなり小さかったこと、実緊張力が $1/3$ であることは、何らかの原因で緊張力が不足したか、抜け落ちによって近傍のプレストレスが開放されたためと考えられる。

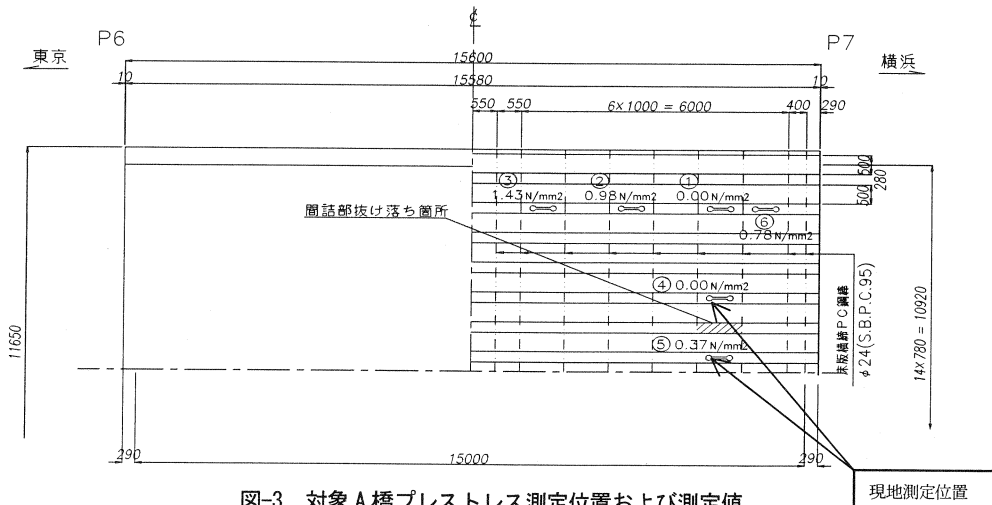


図-3 対象A橋プレストレス測定位置および測定値

次に、同年代のポストテンション PCT 桁橋 (対象 B 橋) において同様に横締めプレストレスを測定した結果を図-4 に示す。桁端部の床版と鋼板接着によって抜け落ち対策を実施した近点の①、②は、 0.85 、 0.31N/mm^2 であり、設計値 1.2N/mm^2 の 50% 以下である。次に、間詰め床版と桁との接合部から遊離石灰と雨水が漏出している箇所周辺の③、④は、 0.59 、 0.36N/mm^2 と設計値の 40% 以下であり、いずれも設計値を大幅に下回る結果となった。

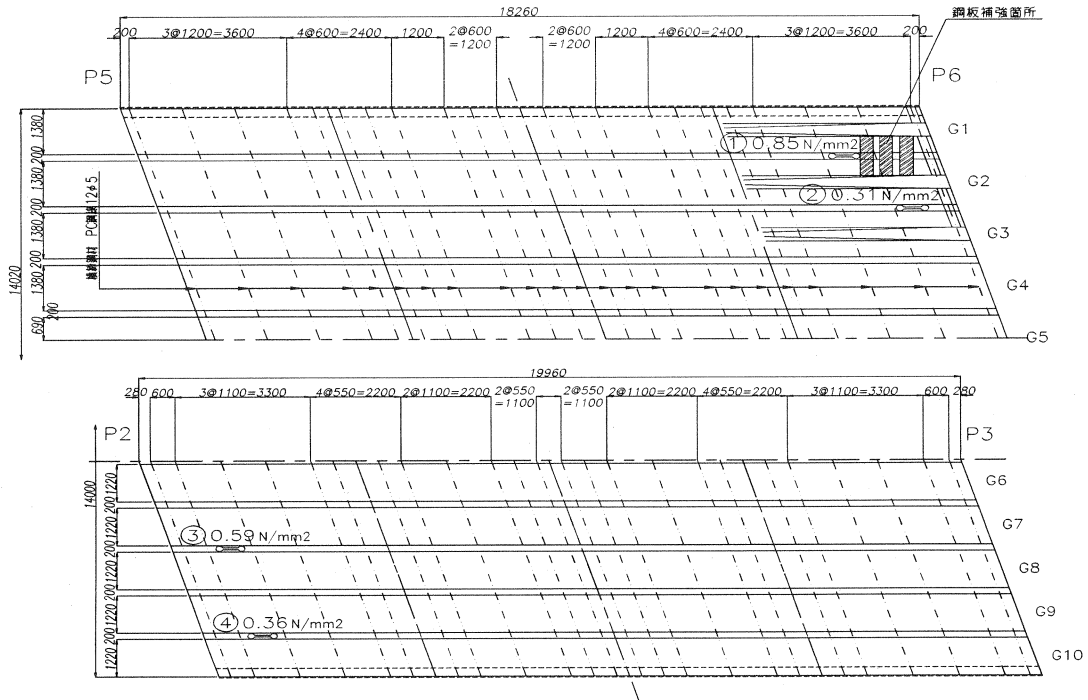


図-4 対象B橋プレストレス測定位置および測定値

このように、実橋測定結果から、抜け落ちた周辺は抜け落ちによる開放によって測定値がゼロとなったとも考えられるが、抜け落ちに関係の無い箇所も設計プレストレスを大きく下回る測定結果となったことは、抜け落ちによる開放に関係無く、他の要因で横締めプレストレスが減少したことを示す結果となった。

また、横締めプレストレスが少ないことから間詰め床版と主桁の結合力が弱いため発生したとも推測され現象として継ぎ目が開口しており、ひび割れ開口部から大量の遊離石灰や雨水が漏出していることから、今後の供用において安全性、使用性及び耐久性を危惧する結論となった。

5. おわりに

今回行った室内および実橋実験等によって得られた PCT 桁間詰め床版抜け落ちの原因としては、

- (1) 桁端部付近の横締めプレストレスは、施工時が供用開始後か不明であるが何らかの原因で減少した。
- (2) 昭和 43 年 PC 道示制定、昭和 46 年 JIST プレ改訂以前に竣工した PCT 桁橋は、床版間詰め部が無筋でテーパを有していない構造が多く、床版間詰め部と主桁の結合力が低下すると、抜け落ちる可能性が高く、抜け落ちに対する抵抗力は無い。

以上が、今回実施した室内実験、実橋実験の検証結果であり、新たに採用した測定法の使用性も確認された。

今後は、同年代の抜け落ちの可能性が高い対象橋梁の対策を早急 to 実施することだけでなく、横締めプレストレスが均一に入っていない事象を実験等で確認し、より高度な設計、施工、維持管理に努めたい。