

破断したPC鋼材を有するPCI桁の耐荷性能評価

首都高速道路(株) ○蒲 和也
 首都高速道路(株) 正会員 御嶽 譲
 (一財)首都高速道路技術センター 大宮 勲

キーワード：PC橋，点検，PCケーブル，PCグラウト

1. はじめに

首都高速道路におけるポストテンション方式PC橋（以下，ポステン橋）約1800径間のうち約1700径間が1996年以前に建設されたものであり（図-1），PCグラウト充填不足の要因のひとつであるブリーディングを許容するPCグラウトを用いて施工されている。近年，ポステン橋におけるPCグラウトの充填不足が懸念され（写真-1），PCグラウトの未充填に起因するPC鋼材の破断事例が確認されている。

首都高速道路において，主ケーブルの破断事例はないが，横締めPC鋼棒が破断し突出する事象が数件確認されている。いずれもPCグラウトの充填不足箇所への水の浸入によりPC鋼棒が腐食し破断したものであり，主ケーブルにおいても同様の現象が発生する可能性を否定できない。

このような背景のもと，ポステン橋を永く使用するためには，PCグラウト充填状況やPC鋼材の破断を点検によって把握することが重要であり，適切かつ効率的な調査方法が求められる。また，PC鋼材の破断を発見した場合にポステン橋の性能を速やかに評価することが，安全性確保や補修・補強を行う上で重要となる。しかし，PC鋼材の破断が耐荷性能にどう影響するか，破断による性能低下を検出可能か，可能な場合に何を調査すればよいかについては明らかにされていない。そこで，PC鋼材が破断した場合の耐荷性能および評価方法を明らかにすることを目的として，実物大PC桁試験体を用いた载荷試験を実施し，PC鋼材破断と耐荷性能の関係を検証した。

2. 試験体製作

首都高速道路のポステン橋でもっとも多い構造形式であるPCI桁を対象として，表-1に示す設計仕様で4体製作した（写真-2）。昭和36年プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）を適用し，ポステン橋の建設が比較的多い1960年代の桁を再現している。特徴は，当時標準設計とされていた上縁定着工法およびマルチワイヤーケーブル（12

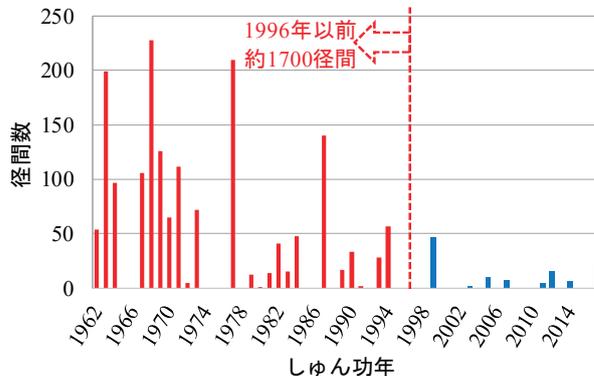


図-1 首都高速道路のポステン橋建設推移



写真-1 PC グラウト未充填例（内視鏡調査）

表-1 試験体設計仕様

構造形式	PCI桁
桁長／桁高	17m／1.1m
コンクリート設計基準強度	40N/mm ²
PCケーブル	12Φ5 (SWPR1AN)



写真-2 実物大 PC 桁試験体

φ5) を採用していることである。

製作した4体の試験体は、PC鋼材破断時にPCグラウト充填度合いが耐荷性能にどう影響するかを確認するため、PCグラウトの配合または充填量を変えて注入し、充填度合いが違う試験体とした。PCグラウトの配合は旧施工要領に示された配合例を模擬し、事前に確認試験を実施して決定した¹⁾。載荷試験実施後の解体調査で確認した充填度合いは表-2のとおりであった。

3. 載荷試験

3.1 試験方法

載荷試験フローを図-2に示す。試験体に配置したPCケーブル(12φ5)切断前および1束ずつ切断する度に、繰返し載荷および静的載荷を実施し、PCケーブルを全8束切断するか、載荷しても荷重が上がらずたわみのみ増加する状態(載荷試験実施限界)に至るまで繰り返し実施した。

PCケーブルの切断は、C1ケーブルからC8ケーブル(図-3の①から⑧)の順番に実施し、定着部に設けたPCケーブル露出部にてガス溶断した(写真-4)。

繰返し載荷は、切断して付着切れを起こしたPCケーブルのなじみをとることを目的に実施した。橋面荷重相当の75kNを下限荷重、これに活荷重相当の110kNを上乗せした185kNを上限荷重として、PCケーブルを1束切断する度に約1Hzで約12時間実施した。

静的載荷の最大荷重は、桁下縁に1.5N/mm²を生じさせる荷重275kNとした。

3.2 試験結果と考察

(1) PC鋼材破断による耐荷性能の変化

PCケーブルを1束切断する度に実施した静的載荷試験の結果を表-3に示す。PCグラウトが全区間に充填されている「充」および一部区間(定着部付近0.5m程度)が未充填であるが比較的良好に充填されている「未-2」は、全PCケーブル8束を切断してもひび割れは発生せず、荷重-変位の関係にも変化はみられなかった。広い範囲で未充填区間を有する「未-1」「未-3」は、切断する度に残留変位が進行し、「未-1」は6束、「未-3」は3束切断後に剛性の低下が顕著に表れた。また、「未-1」は、PCグ

表-2 PCグラウト充填度合

試験体名	充填度合 (PCグラウトの水セメント比)
充	全区間充填 (42%)
未-1	排出側未充填 (42%)
未-2	両側定着部付近未充填 (62%)
未-3	全区間未充填 (-)
備考	<ul style="list-style-type: none"> 上縁定着1本, 端部定着1本に省略して表示 凡例: 充填, 未充填 (空隙)

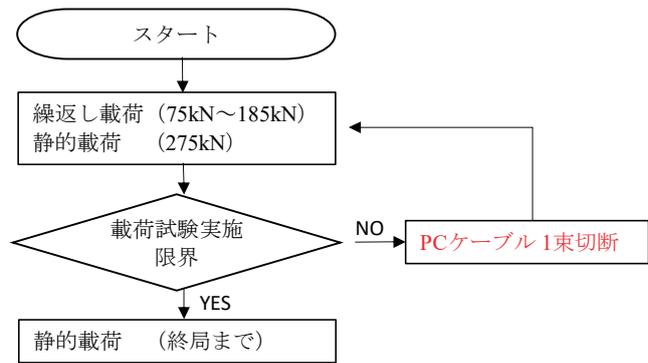


図-2 載荷試験フロー

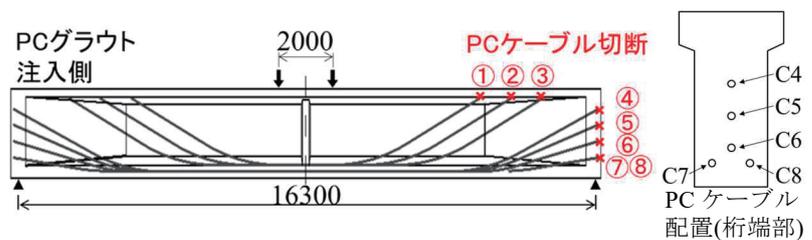


図-3 載荷方法およびPCケーブル切断位置



写真-3 載荷試験状況

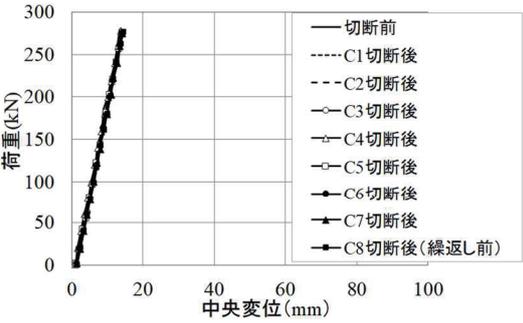
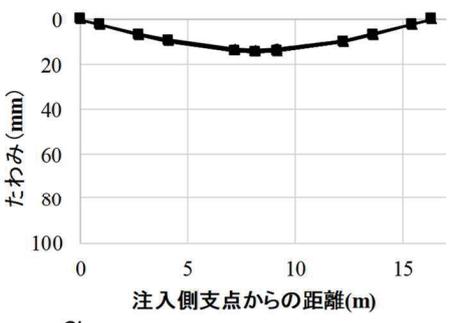
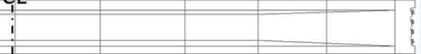
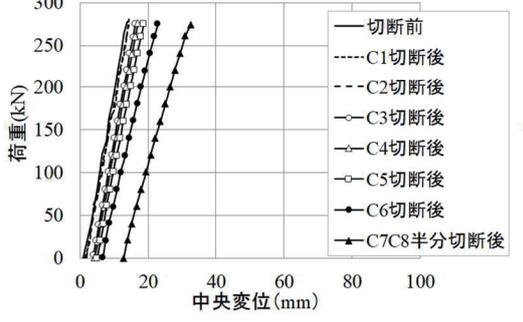
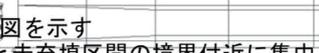
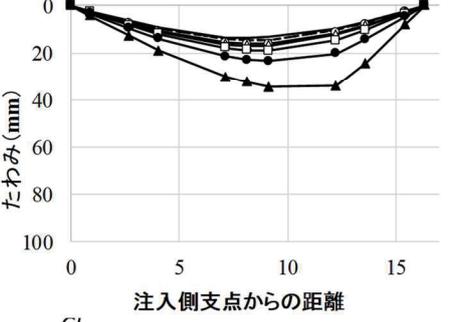
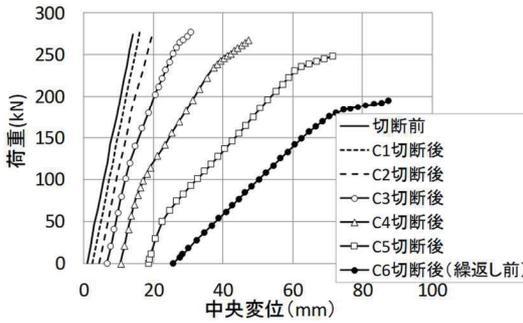
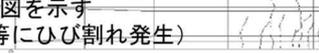
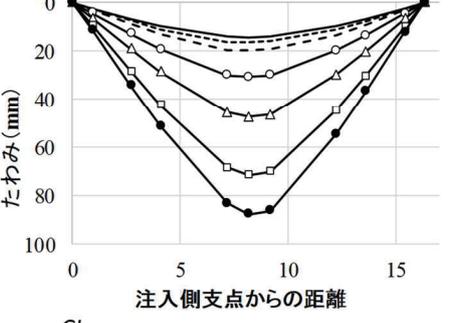


写真-4 PCケーブル切断

ラウトの充填と未充填区間の境界付近である排出側の支間1/4付近にひび割れが集中して発生し、たわみ分布も支間1/4付近に片寄る形状になった。

これらから、PCケーブル破断位置が曲上げ部付近の場合、PCグラウトが適切に充填されていれば、破断しても耐荷性能に与える影響が少ないこと。まったく充填されていない場合でも、PCケーブルの破断束数が1/3程度（全8束中3束）までは、設計荷重相当の耐荷性能を有することを確認した。また、「未-1」のように片寄って未充填区間を有する場合には、ひび割れやたわみなどの変状が充填と未充填区間の境界付近に集中して発生することを確認した。

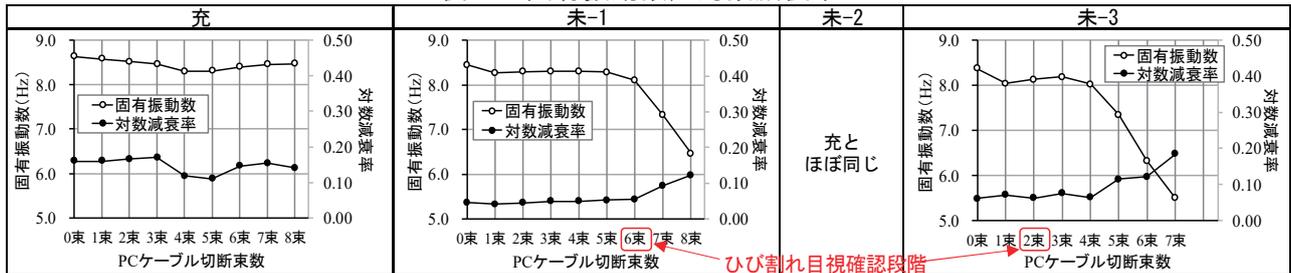
表-3 荷重-変位, たわみ分布, ひび割れ状況

試験体名 (PCグラウト充填度合)	荷重-変位 ひび割れ状況	たわみ分布 (275kN載荷時)
<p>充 (全区間充填)</p> 	 <p>8束切断後のひび割れ図を示す (ひび割れなし)</p> 	 <p>CL</p> 
<p>未-1 (排出側未充填)</p> 	 <p>7束切断後のひび割れ図を示す (PCグラウトの充填と未充填区間の境界付近に集中してひび割れ発生)</p> 	 <p>CL</p>  <p>排出側</p>
<p>未-2 (定着部付近未充填)</p> 	<p>充とほぼ同じ</p>	
<p>未-3 (全区間未充填)</p> 	 <p>8束切断後のひび割れ図を示す (支間中央付近に均等にひび割れ発生)</p> 	 <p>CL</p> 

(2) 振動特性の変化による耐荷性能評価

既往の研究²⁾において、PCケーブル破断により固有振動数および対数減衰率が変化することが確認されている。本試験においても、この振動特性の変化による評価手法の適用性を検証した。桁上面に置いた起振機により試験体を強制加振した後、加振を停止してから振動が収まるまでの振動波形を桁下面に設置した加速度計で取得し、その減衰波形から固有振動数と対数減衰率を算出した。この作業を、PCケーブルを1束切断する度に実施して変化を把握した。各試験体の固有振動数と対数減衰率を表-4に示す。耐荷性能が低下した「未-1」および「未-3」では、固有振動数および対数減衰率にPCケーブル切断に伴う大きな変化がみられた。ただし、目視確認によるひび割れ発生段階よりも変化が確認できる段階が遅く、性能低下を早期に発見することは難しいと考えられる。

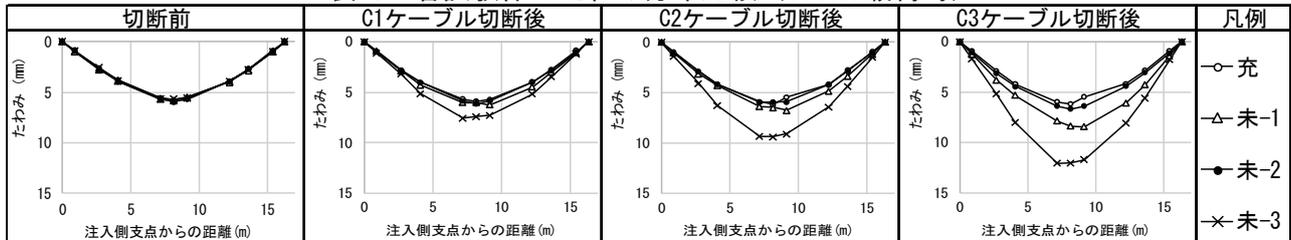
表-4 固有振動数, 対数減衰率



(3) たわみ分布の変化による耐荷性能評価

各試験体のたわみ分布を比較して表-5に示す。PCケーブル切断後も耐荷性能の変化がほとんどみられなかった「充」及び「未-2」に比べて、「未-3」はC1ケーブル切断後に、「未-1」はC3ケーブル切断後にたわみの変化が顕著に現れた。これらは、目視確認によるひび割れ発生段階（未-3はC2ケーブル切断後、未-1はC6ケーブル切断後）よりも早期に現れており、たわみの変化に着目することが性能低下を早期に発見する方法として有効と考えられる。

表-5 各試験体のたわみ分布比較 (100kN 載荷時)



4. まとめ

実物大PC桁を試験体を用いて、PCケーブルを機械的に破断させ、破断後に載荷試験を実施し、PC鋼材破断と耐荷性能の関係を検証した。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- PCケーブル破断位置が曲上げ部付近の場合、PCグラウトが適切に充填されていれば、破断しても耐荷性能に与える影響は少ない。充填されていない場合でも、PCケーブルの破断束数が1/3程度までは、設計荷重相当の耐荷性能を有する。片寄って未充填区間がある場合は、ひび割れやたわみなどの変状が充填と未充填区間の境界付近に集中して発生する。
- 固有振動数および対数減衰率の変化から性能低下を早期に発見することは難しく、たわみの変化に着目することが性能低下を早期に発見する方法として有効と考えられる。

なお、解析による耐荷性能評価とあわせて引続きPC鋼材破断と耐荷性能の関係を検証しているところである。

参考文献

1) 蒲ら:旧仕様 PC グラウトの充填特性確認実験, 第73回土木学会年次学術講演会概要集
 2) 青木:プレストレストコンクリート橋における PC 鋼材破断とその調査および性能評価に関する研究, H27. 12