

# 鉄道における PC の歴史

石橋 忠良\*

## 1. はじめに

現在、長大鉄道橋のほとんどにプレストレストコンクリート（以下、PCという）橋が採用されている。これは、それまでの長大橋の主流だった鋼橋が騒音問題から採用が見送られ、PC橋に変わったことによる。わが国でPC橋が実用化されたのは、戦後である。この戦後から現在に至るPC鉄道橋の発展の歴史を時代区分ごとに代表的な橋梁を中心に紹介するとともに、主な技術の変遷について述べる。

## 2. 代表的な構造物 1) 2) 3) 10)

### 2.1 PCの初期（昭和20～30年代）

PC桁の研究は、第二次世界大戦の始まる前から国鉄鉄道技術研究所にて始められており、プレテンション桁の試験が行われていた。戦後、本格的な研究が進められ、昭和23年にまくら木にプレストレストコンクリートを適用することの試作、研究が始まった。

昭和26年に国鉄からPCまくら木が発注されたことがプレテンションの実用化の始まりである。また、昭和27年には東京駅のプラットフォームにポストテンションPC桁が発注された。昭和28年には、大阪駅構内にスパン4.9mのポストテンションPC桁とスパン5mのプレテンションPC桁計88連が初めての鉄道橋として施工された。

昭和29年には、信楽高原鐵道の第一大戸川橋梁<sup>4)</sup>（スパン30m、写真-1）が最初の本格的なPC鉄道橋として造られた。桁高/スパンは1/23、設計基準強度45 N/mm<sup>2</sup>である。

この橋梁は、現在も非常に健全である。国鉄の造った主な初期のPC橋を表-1に示す。

また、昭和29年、建築における初のPC構造として浜松町駅上屋が着工した。

30年代に入るとPC橋梁は、急速に発展していった。当時、I型桁、箱型桁、下路桁の標準設計が作成された。

昭和32年には、最初のPC連続桁晴海橋梁（21.3m×3）が完成した。これはI形単純桁を架設し、支点上で連結し

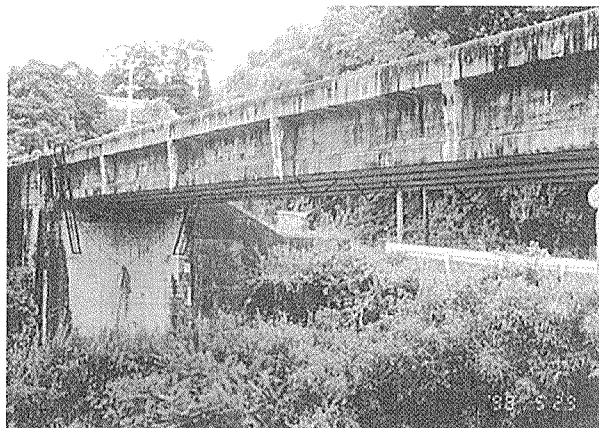


写真-1 信楽高原鐵道第一大戸川橋梁

表-1 初期のPC鉄道橋

#### A. プレテンション鉄道橋

名称	場所	荷重	スパン (m)	竣工 (年月)	方式
第1中島橋梁	白新駅	KS-15	2.89	28.9	12主桁
東京駅7・8番線橋	東京駅	KS-18	7.5	28.11	10主桁
大阪駅線路扛上桁	大阪駅構内	KS-18	5.0	29.10	2主桁
新宿駅地下道桁	新宿駅	KS-15	7.5	30.2	10主桁
海運町架道橋	大阪環状線	KS-18	9.8	32.3	9主桁

#### B. ポストテンション鉄道橋

名称	場所	荷重	スパン (m)	竣工 (年月)	方式
大阪駅線路扛上桁	大阪駅構内	KS-18	4.9	28.3	マグネル2主桁
第一大戸川橋梁	信楽高原鐵道	KS-12	30.0	29.9	フレシネー4主桁
絹掛橋梁	北陸本線	KS-18	12.9	32.9	フレシネー4主桁
晴海橋梁	東京晴海埠頭	KS-15	21.3×3	32.12	フレシネー2主桁
古江橋梁	国分線	KS-14	25.3	33.11	フレシネー2主桁

たものである。

昭和35年には、3径間連続箱形桁4連の赤穂線吉井川橋梁（33.2m×3、4連、単線）がレオンハルト工法にて建設された。総足場、場所打ち工法である。

昭和34年に東海道新幹線が着工された。高架部には大量のPC桁が採用された。大部分はT形、I形の桁を並べた方式である。

この時期に在線にも各種のPC桁が採用された。

下路桁は、昭和35年に鹿児島本線石堂川橋梁（スパン



\* Tadayoshi ISHIBASHI

東日本旅客鉄道(株) 執行役員  
構造技術センター所長

11 m) が、昭和 36 年に七尾線羽咋川橋梁 (スパン 19 m) が施工された。

昭和 37 年には、上越線第八利根川橋梁 (62 m) が方杖ラーメン橋として施工されている。

同年には、東北本線鬼怒川橋梁<sup>5)</sup> (30 m × 3, 33 m × 2 + 30 m, 36 m + 30 m + 33 m) がフレッシュ工法による連続桁として総足場にて完成した。

また同年には、北上線鶯の巣川橋梁<sup>6)</sup> (24 m + 44 m + 24 m), 昭和 39 年には東北本線那珂川橋梁 (26.4 m + 46 m + 26 m) がディビダーク工法にて張出し施工された。

根岸線 (昭和 36 年), 大阪環状線 (昭和 39 年) の線増工事にはスパン 20 ~ 30 m の PC 桁が大量に施工された。

## 2.2 高度成長期 (昭和 40 年代)

昭和 39 年には東海道新幹線が開通した。山陽新幹線の岡山までが昭和 47 年, 博多までが昭和 50 年に開通した。東海道新幹線の開通により, 鉄桁の列車走行に伴う騒音が大きな社会問題となり, その結果 PC 桁の長大橋への採用が一般化した。昭和 40 年に完成した東北本線荒川橋梁では, 鋼トラスを除く箇所にもスパン 38.6 m の単純複線下路桁が 24 連架設された。昭和 44 年総武線中川放水路橋梁 (37.4 m + 48 m + 37.4 m) はわが国最初の PC 下路連続桁である。

昭和 41 年に完成した山陰本線日野川橋梁はスパン 58.3 m の箱型単純桁で当時最大スパンであった。

また, この時期にはプレキャスト工法の開発, 採用が盛んに行われた。昭和 42 年には北陸本線名立川橋梁 (31 m × 2) が箱型桁を 21 個のブロックに分割し, 接合面にはエポキシ樹脂が用いられ架設された。昭和 44 年には山陽新幹線の加古川橋梁 (56 m × 3, 2 連) が, 目地にエポキシ樹脂を用いプレキャストカンチレバー工法で施工された。同年に奥羽線米代川橋梁 (56.3 m × 3, 2 連) がコンクリート目地を用いてプレキャストブロック工法にて完成した。

東海道本線瀬田川橋梁 (46 m × 2) は昭和 42 年に完成した。ここでは各橋脚に, 地震時に桁と橋脚とが移動可能な鋼角筒と, 常時の固定用および地震時の桁移動を防止するため, 橋脚のほぼ中間部には水平力に抵抗する機能をもつ PC 鋼棒をたすきにした構造が採用されている。その後, 分散方式をさらに改良したダンパー式ストッパー (図 - 1) が開発され, 山陽新幹線およびそれ以後現在に至るまで単純桁, 連続桁に多く用いられている。地震時の水平力を全橋脚で分散支持することが可能となったので, 特定の橋脚が大きくなりすぎることがなくなり, 長大な連続桁の建設が経済的にも可能となった。

その結果, 最大径間 80 m 級の連続桁が次々と建設された。昭和 45 年には山陽新幹線吉井川橋梁 (73.2 m × 2) が, 昭和 49 年には山陽新幹線錦町架道橋 (43.2 m + 88.0 m + 43.2 m) が当時最大径間として完成した。

昭和 48 年に完成した山陽新幹線第 2 綾羅木川橋梁は, コンクリートの設計基準強度 60 N/mm<sup>2</sup> を用いたスパン 49 m の I 形単純桁である。

昭和 48 年には山陽新幹線岩鼻架道橋 (45 m) が, またその年に三陸鉄道太田名部架道橋 (24 m) が PC トラス橋として完成した。昭和 50 年には三陸鉄道安家川橋梁 (45

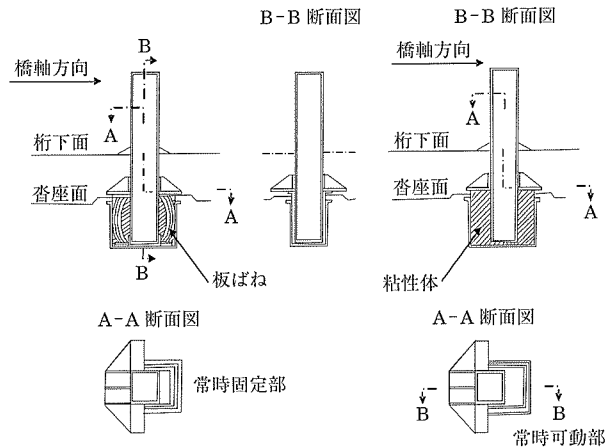


図 - 1 ダンパー式ストッパー

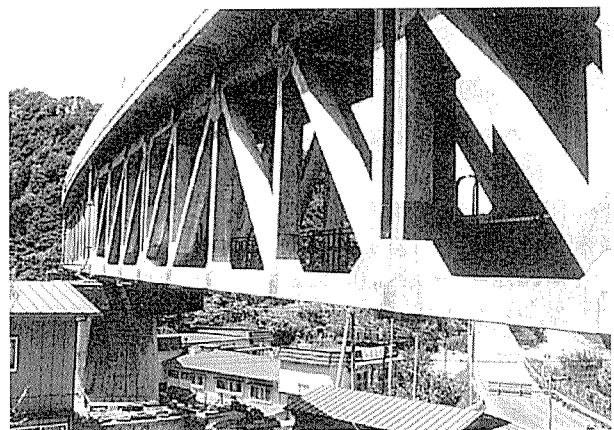


写真 - 2 三陸鉄道安家川橋梁

m × 6 + 27 m, 写真 - 2) が PC トラス橋として完成した。いずれも設計基準強度 80 N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートを用いている。

PC トラス橋の施工実績を表 - 2 に示す。

また, 60 N/mm<sup>2</sup> 程度以上の高強度コンクリートを用いた主な橋梁を表 - 3 に示す。

軽量コンクリートを用いた PC 桁として昭和 40 年に東北本線金山架道橋 (15.8 m) がわが国で初めて施工された。昭和 42 ~ 43 年に総武線の線増工事の PC 桁 (16 ~ 31 m) に大量に採用され, また山陽新幹線の倉敷付近の軟弱地盤地帯の PC 桁 (22 ~ 32 m) にも軽量コンクリートが採用されている。

## 2.3 昭和 50 年代

この時期に施工された東北・上越新幹線では, より長大な PC 桁が建設された。

昭和 49 年から 50 年にかけて東北新幹線第一北上川橋梁の PC 箱型桁が移動支保工により施工された。この橋梁は総延長 3 870 m となる。桁長は 31 m と 33 m の 2 種類で桁高, 断面は同一に設計された。桁長 31 m が 45 連, 33 m が 48 連施工された。

長大橋梁は, 東北新幹線第 2 阿武隈川橋梁 (104.9 m + 105 m × 3 + 104.9 m) が昭和 50 年に, 上越新幹線太田川

表 - 2 PC トラス橋の施工実績

橋梁名	施主	所在地	橋長 (m)	最大支間 (m)	構造形式	プレキャスト部材 コンクリート強度 $\sigma_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	施工方法
岩鼻架道橋	国鉄	広島県	46.3	45.0	単純下路ワーレントラス	80	プレキャスト, 支保工上架設
太田名部架道橋	日本鉄道建設公団	岩手県	25.0	24.0	単純上路ハウトラス	80	プレキャスト, 支保工
安家川橋梁	日本鉄道建設公団	岩手県	305.1	45.0	単純上路ハウトラス	80	プレキャスト, 支保工上架設
横木沢橋梁	日本鉄道建設公団	岩手県	81.5	36.0	2 径間連続下路ワーレントラス	40	プレキャスト, 張出し架設

表 - 3 60 N/mm<sup>2</sup> 程度以上の高強度コンクリートを用いた主な橋梁

橋梁名	養生法	設計基準強度 $\sigma_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	線名	
安家川 PC トラス橋	プレキャスト部材	オートクレープ養生	80	三陸鉄道
	場所打ち部材	普通養生	60	三陸鉄道
岩鼻川 PC トラス橋	プレキャスト部材	普通養生	80	山陽新幹線
	場所打ち部材	普通養生	60	山陽新幹線
第 2 綾羅木川橋		普通養生	60	山陽新幹線
香月架道橋		普通養生	60	山陽新幹線
第 2 武蔵野線線路橋		普通養生	60	東北新幹線
青山橋		普通養生	55	東北新幹線
高畑橋		普通養生	55	東北新幹線
多田川橋		普通養生	55	東北新幹線
青森ベイブリッジ	主塔	普通養生	60	青森駅構内
野呂川橋梁		普通養生	60	奥羽線
荒川橋梁 (低ライズランガー橋)	アーチ部材	普通養生	60	東北本線
姉ヶ崎橋梁 (PC 斜吊橋)	斜材	普通養生	60	内房線

橋梁 (55.4 m + 110 m + 55.4 m), 吾妻川橋梁 (110 m × 2) が昭和 53 年に完成した。これらはいずれも箱型断面でカンチレバー工法にて施工された。昭和 63 年には、本四備讃線の北浦港橋梁 (85 m + 120 m × 2 + 85 m + 40 m) もカンチレバー工法にて施工された。

昭和 50 年には、東北新幹線猿ヶ石橋梁 (30 m × 7 + 30 m × 6) にて押出し工法が初めて鉄道橋に採用された。

単純桁のスパンも増大し、昭和 51 年に東北新幹線第 2 丘里架道橋 (61.4 m) が複線下路桁で、昭和 52 年には東北新幹線砂押川橋梁 (65.6 m) が単純箱型桁で施工された。

昭和 53 年の宮城県沖地震により建設中の東北新幹線の構造物に被害を生じた。とくに支承部の被害が大きかった。この結果、鋼製シューをやめてゴムシューを全面的に採用し、鋼製のストッパーと併用することとなった。また、橋脚のせん断先行破壊を防ぐために帯鉄筋を大幅に増加させることになった。

昭和 54 年には、上越新幹線赤谷川橋梁が最大スパン 126 m のコンクリートアーチ橋で完成し、三陸鉄道小本川橋梁 (45.7 m + 85 m + 45.7 m) が、斜材を PC 部材とした PC 斜張橋として施工された。

PRC 桁は昭和 57 年に桜井線のボケラ橋梁 (16.2 m) で最初に施工された。その後、大宮・上野間の東北新幹線、埼京線で 46 連の PRC 桁が施工された。この時、設計には、収縮ひずみ 800  $\mu$ 、クリープ係数 3.0 を用いることとした。これは計測した実橋の PRC 桁のひずみに計算結果を合わせ

るために採用したものである。

#### 2.4 平成の時代 (国鉄分割後)

昭和 62 年に国鉄が民営分割され JR 各社となった。新幹線の建設は、長野新幹線、北陸新幹線、東北新幹線の盛岡以北、九州新幹線が引き続き建設されている。主な鉄道に関わる PC 橋梁を土木学会の田中賞から拾ったのが表 - 4 である。

表 - 4 土木学会田中賞受賞鉄道橋梁

年	橋梁名	備考
平成 4 年	青森ベイブリッジ (3 径間連続 PC 斜張橋)	JR 東日本
平成 7 年	北陸新幹線第 2 千曲川橋梁 (2 径間連続 PC 斜張橋)	日本鉄道建設公団
平成 8 年	名取川橋梁 (2 径間連続 PC 斜版橋 × 4 連)	JR 東日本
平成 8 年	北陸新幹線屋代橋梁 (屋代南: 4 径間連続 PC 斜張橋 屋代北: 3 径間連続 PC 斜張橋 屋代中: 3 径間連続 PC ラーメン橋)	日本鉄道建設公団
平成 11 年	鳴瀬川橋梁 (6 径間連続 PC フィンバック橋)	JR 東日本
平成 18 年	天間川橋梁 (3 径間連続アーチ橋)	JR 東日本

青森ベイブリッジ (128 m + 240 m + 128 m, 写真 - 3) は青森駅構内をオーバーする道路橋であるが、国鉄、JR で設計、施工が行われた。新幹線のため勉強していた斜張橋





写真 - 3 青森ベイブリッジ

を道路に応用したものである。ファン型に張られた斜材 10 段を支える 2 本の主塔は、高さ 60 m で大きな圧縮力を受けるため、60 N/mm<sup>2</sup> の高強度コンクリートが使用された。また、コンクリートの打設は、地上から 80 m までの高所へコンクリートポンプ車で圧送で行われた。

北陸新幹線第 2 千曲川橋梁 (135 m + 135 m)、屋代橋梁 (65 m + 105 m × 2 + 65 m, 55 m + 90 m + 55 m) は鉄道橋としては初めて斜材をケーブルとした斜張橋である (写真 - 4, 5)。

東北本線名取川橋梁<sup>8) 9)</sup> (40.9 m + 51.5 m, 108.4 m + 108.6 m, 51.9 m + 52.9 m, 51.9 m + 52 m, 写真 - 6) は、斜材を PC 版とした橋梁である。PC 版のケーブルは主塔部に定着体を設けないスルー構造となっている。

仙石線鳴瀬川橋梁 (75.8 m + 4 × 85 m + 71.3 m, 写真 - 7) は高欄部分を構造部材にデザイン面も考慮して取り入れた橋梁である。

東北本線天間川橋梁 (56.4 m + 66.1 m + 56.4 m, 写真 - 8) は、橋脚とアーチを剛結し、このアーチから桁を吊った構造となっている。アーチの反力は PC ケーブルで橋脚を結んで対処する構造となっている。

田中賞を受賞していないが、以下に特徴的な橋梁をいくつか紹介する。



写真 - 4 北陸新幹線第 2 千曲川橋梁



写真 - 5 北陸新幹線屋代川橋梁



写真 - 6 東北本線名取川橋梁



写真 - 7 仙石線鳴瀬川橋梁

内房線の姉ヶ崎橋梁<sup>11)</sup> (79.5 m, 写真 - 9) は、U 型断面主桁に直線的に配置した圧縮部材を取り付けて、その頂部から 2 本の吊材で主桁を支持する構造形式の橋梁である。

平成 15 年に完成した羽越本線山倉川橋梁 (51.8 m, 写真 - 10) は、PC 下路桁のウェブをコンクリートを充てんした鋼管斜材に置換した構造とした橋梁である。降雪地帯を考慮して、下床版は開床式としている。

吾妻線では、第 2 吾妻川橋梁 (41 m + 111.5 m + 167



m + 111.5 m, 写真 - 11), および第 3 吾妻川橋梁 (203 m) が現在施工中である。



写真 - 8 東北本線天間川橋梁



写真 - 9 内房線姉ヶ崎橋梁



写真 - 10 羽越本線山倉川橋梁



写真 - 11 吾妻線第 2 吾妻川橋梁

### 3. PC 技術の変遷と問題解決の歩み

#### 3.1 技術の変遷

##### (1) PRC 構造の全面的採用

経済性、ならびに桁の長期的な変形を小さくできることで、鉄道の走行にとって有効であることから今では全面的に PRC 構造が採用されている。それまで PC 桁は、鉄道開業後桁が上に反ることが多く、高速走行ができなくなり、何度か開業後軌道の据付けをし直していた。またスパンの大きな RC 桁は下側に反ることも問題とされていた。

PRC 桁にすることで、これら長期的な変形による問題を解決することが可能となった。

##### (2) 支承構造の変化

PC 橋梁の支承は、鋼橋の支承を準用して、初期のころは鋼製であった。宮城県沖地震で、多くのシューが被害を受けたことと鋼製シューが高価なことから、ゴムシューと鋼製のストッパーの組合せに全面的に変えて現在に至っている。なお最近ではストッパーをコンクリート製としたものも用いられ始めている。

##### (3) 下路桁の構造形式の多様化

多くの鉄道の改良工事に PC 構造が採用されている。この場合、線路の高さを変えることが難しいために、下路形式の構造が選ばれる。この下路構造に景観などを配慮して、ランガー形式、斜版橋、斜張橋など多くの構造が試みられている。

#### 3.2 問題解決

##### (1) PC の上縁定着の廃止と PC グラウトの改良

昭和 57 年、撤去した経年 14 年の PC 桁を解体調査した結果、鉛直 PC 鋼棒の腐食破断と主ケーブル定着部でグラウトの不完全な状況が発見された。鉛直 PC 鋼棒のグラウトは不十分な状態であり、そこに上縁定着部の後埋め部から水が浸入し鋼棒が腐食し、内部で破断しているものが発見された。その結果を踏まえ、それ以降の設計では、鉛直 PC 鋼棒を原則用いないこととした。箱形桁や下路桁のウェブのせん断設計は、PC 構造とはせず鉄筋コンクリート構造として設計することとした。やむを得ず鉛直 PC 鋼棒を使用するときは、グラウトの施工の不要なアンボンド PC 鋼棒が用いられた。また、主ケーブルの定着も上縁定着をやめ、すべて端部定着か、ウェブか下スラブに定着するようにして、後埋めコンクリートから水が浸入しないように配慮した。

グラウトの充てんが不十分であることが発見されたことから、グラウトに関する配合、施工試験が多く実施された<sup>7)</sup>。その結果、ノンブリーディングタイプ以外の材料は、シース内に空隙が残りやすく、またブリーディングを追い出すのも非常に難しいことが分かった。その結果、グラウトの品質については、それまでのアルミ粉末の発砲による膨張でブリーディングを追い出すタイプのものをやめて、ノンブリーディングタイプのグラウトの使用が基本となった。

また、高度成長期に大量に造った PC 桁のなかには、何本かの主ケーブルにグラウトがまったくされていないものも発見された。昭和 62 年の鉄道の規定では、PC グラ

ウトのし忘れをなくすべく、グラウトの注入圧力記録などの施工報告書の提出を義務づけるなどの管理が強化された。

現在は、鋼材の腐食破断を防ぐため、シー스는原則プラスチックシースを用いることとし、グラウトキャップを用いてグラウトを施工し、その後グラウトキャップをはずして、グラウトのし忘れのないことを確認するようにしている(写真 - 12)。横締めなど細径の鋼材は、原則グラウト作業のないプレグラウト鋼材を用いることとして対策を採っている(JR 東日本)。

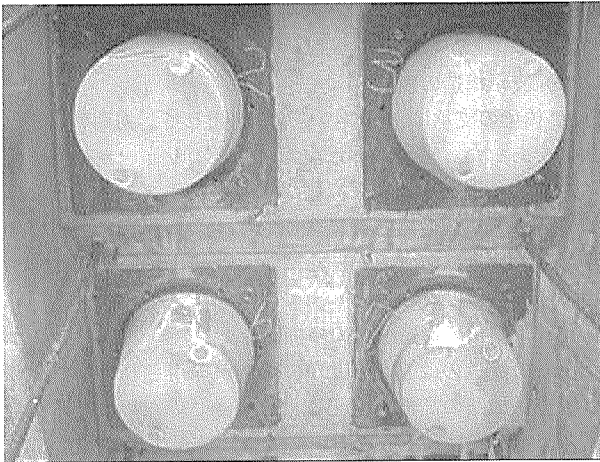


写真 - 12 グラウトキャップ

#### (2) 既設構造物の鋼棒の破断対策

すでに施工されている PC 構造物の横締めの鋼棒や鉛直鋼棒などは、時どき破断し、被りコンクリートを落とすとともに、飛び出すということが生じている(写真 - 13)。これらがその下の人や物にあたると大変であるので、その可能性のある箇所では落下しないような対策を採っている。破断した箇所については再度鋼材を配置し直している。

主ケーブルのグラウトのし忘れの箇所については、見つける都度グラウトの再注入をしているが、完璧に施工することはかなり大変である。

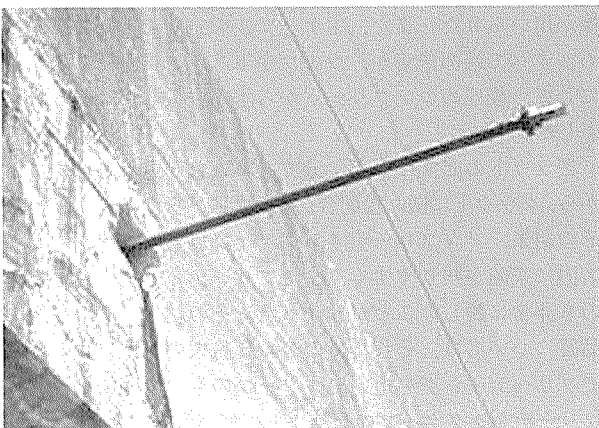


写真 - 13 PC 鋼棒の破断

#### 4. おわりに

長大橋や、鉄筋コンクリート構造ではひび割れ幅が大きくなるスパン 25 m 以上の橋梁に対しては今後とも主要な構造形式として PC は採用されるであろう。また、都市部では景観や環境への配慮から、下路桁形式からランガー、斜版、斜吊形式など桁高を感じさせない構造の選定が増えることと思われる。

設計では、桁構造においては支承部が弱点となるので、できるだけシューのない構造が選ばれるであろう。また、プレグラウト鋼材をはじめグラウト作業のない工法や被覆鋼材にグラウトを施工するなど、防食対策が徹底されるであろう。

施工においては、緊張管理やグラウト管理といった専門技術を必要とする手法から作業員が容易に、かつ確実にできるシステムに変更されたいと考える。難しくしている施工管理を分かりやすくしていくことも大切である。たとえば、緊張管理の多くは構造物の耐力には関係なく、ひび割れ制御のための管理であり、わかりやすい方法にしたほうが良いと思う。

メンテナンスの面では、PC グラウトの未充てんや不完全な充てんに対するの検査方法と再グラウト、あるいは必要により補強等の対策技術が望まれている。鋼棒の破断については、鋼材が腐食破断し飛び出すものは発見できるが、破断しても飛び出さないものについての発見は現状では難しい。発見の方法と、補強などの対策を今から研究しておくことが大切である。

#### 参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：鉄道施設技術発達史，1994.1
- 2) 宮本：プレストレストコンクリート鉄道橋の耐久性評価，東京大学学位論文，1999.3
- 3) 石橋：鉄道における PC の歴史について，プレストレストコンクリート，vol.42，No.6，2000.12
- 4) 仁杉巖：支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋（信楽線第一大戸川橋梁）の設計，施工及びこれに関連して行った実験研究の報告，土木学会論文集，No.27，pp.1～56，1955.7
- 5) 大八木武雄：東北本線鬼怒川橋りょう PC 桁製作架設について，第 29 回土木工事施工研究会記録，pp.211～230，日本国有鉄道，1962.2
- 6) 山本強：横黒線鶯の巣川橋りょうディビダーク工法について，第 30 回土木工事施工研究会記録，pp.50～91，日本国有鉄道，1963.2
- 7) 石橋，中原，西山：PC グラウトの配合および注入方法に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol.27，No.6，pp.58～69，1985
- 8) 石橋：鉄道橋における大偏心 PC ケーブル橋，プレストレストコンクリート，vol.39，No.2，1997.3
- 9) 石橋，大庭，竹内：PC 斜張橋の計画と設計，橋梁 Vol.25，No.7，1989
- 10) 石橋：鉄道における PC 技術の発展、プレストレストコンクリート，vol.46，No.2，pp.26～30，2004.3
- 11) 青木，柳原，津吉，鎌田：内房線姉ヶ崎橋梁の設計，プレストレストコンクリート，vol.43，No.5，2001.9

【2008 年 11 月 18 日受付】