

新幹線における PC 構造の活用と問題点

野 口 功*

1. ま え が き

我が国においては、昭和 30 年代からプレストレストコンクリートが実用されるようになり、急激な勢いで普及していった。ちょうど昭和 34 年から始まった東海道新幹線工事は、戦後の日本における最大のプロジェクトであり、このプロジェクトがプレストレストコンクリートの普及に果たした役割は非常に大きいものであった。

まず、まくらぎについては、当時木まくらぎからコンクリートまくらぎへ変わろうとする時代であり、新しい高速の鉄道にほぼ全面的に PC まくらぎが採用され、高速運転に対する軌道の安定性確保に果たした役割は非常に大きく、現在では、まくらぎと言えば PC まくらぎを指すまでに普及してしまっている。

橋梁においても PC 桁が大量に使用されたことは言うまでもないが、PC 桁の適用の範囲はおおむね中小スパンの橋梁に使用されるにとどまり、東海道新幹線におけるもっとも大きな PC 橋梁は、矢作川橋梁におけるスパン 42 m であった。当時はまだ橋梁における主役は鋼桁の時代であった。

しかし新幹線開業後、騒音が社会問題になり、その元凶が開床式の鋼桁であったため、以後に建設された山陽新幹線においては、鋼桁の数が急速に減り、新幹線橋梁の主役の座にプレストレストコンクリートがおどり出て来た。その結果、山陽新幹線、さらには東北・上越新幹線において、長大橋の大部分がプレストレストコンクリートで造られることになり、鋼橋は地盤の悪い所、特殊な条件のあるところのみ使用されるにとどまっている。表-1 は、東海道・山陽・東北・上越各新幹線における長大橋梁の一覧表である。

このように鉄道橋においてプレストレストコンクリートが急速に増えたことに関しては、その必要性は言うまでもないことであったが、プレストレストコンクリートの技術者が行った技術開発に対する努力と、その成果については高く評価されるべきものであると思う。

しかし一方では、これだけ大量に、しかも難しいところに PC 構造を使うようになったため、かなりの背伸びがあったことも否定するわけにはいかないであろう。

PC 技術者にとって、新しい技術が開発され、この技術が十分に普及する間も待てないで、また新しい技術が生まれるという具合で、細かい問題点まで丹念につぶすひまはなかったはずである。

忙しかった経済の高度成長時代も一段落し、世の中が落ちついたこの時期は、これまでたどって来た道を十分に振り返り、残されたままになっている問題点を解決しながら PC 技術をより堅実なものとする反省も必要であると思う。

また世の中が安定成長時代にはいり、財政、石油の危機が叫ばれる今日では、技術開発の方向も世の中の動きに合わせて変える必要があるが、何よりも建設コストの低下を重視しなければならないと思う。

2. PC 長大橋

PC 鉄道橋におけるスパンの変せんについては 図-1 のとおりである。PC 鉄道橋に携わる技術者にとっての一つの目標であり夢であったのは、スパン 100 m をこえる橋梁を造ってみたいということであったろう。その 100 m 以上のスパンが、東北・上越新幹線において初めて実現したのである。すなわち、東北新幹線における第 2 阿武隈川橋梁のスパン 105.0 m、上越新幹線における吾妻川橋梁の T 形ラーメンのスパン 109.2 m、太田川橋梁のスパン 110 m である。

これらは山陽新幹線の長大橋に盛んに使用された片持梁工法によって架設されたものである。そのほか 表-1 に示すように数多くの長大橋が施工されたのであるが、ほとんど事故らしい事故もなく完成していることは大変喜ばしいことである。

PC 橋の長大化に関しては、かなり前から種々の技術開発が行われていた。

例えば、長大連続桁の場合、水平力を従来のように固定支承だけで負担させる方法では、固定支承のある橋脚あるいは橋台が負担する水平力があまりにも大きくなり過ぎるため、オイルダンパーが開発され、地震時水平力を各橋脚、橋台で分担して負担する方法をとるようになって、はじめて長大化が可能になったのである。

このように大きな技術開発の貢献があったとしても、スパンが大きくなることは単に幾何学的に大きくなるこ

*日本国有鉄道構造物設計事務所所長，工博

表-1 新幹線長大橋梁一覧表

線名	材料	橋 梁 名	順位	ス パ ン (m)	形 式	
東海道新幹線	鋼	第2六番町	Bv	1	16.0+85.2	複線単純下路ローゼ
		馬込	Bv	1	85.2	〃
		長良川	B	3	70.0+79.0+2×(3×70.0)	複線単純下路トラス
		揖斐川	B	4	67.9+2×(3×70.0)	複線連続下路トラス
		森田	Bv	5	68.6	複線単純下路トラス
		有渡	Bv	6	67.2	〃
		木曾川	B	7	4×(3×67.13)+67.13+57.54	複線連続下路トラス
		富士川	B	8	最大 60.0m, その他 10 橋梁	〃
山陽新幹線 (新大阪~岡山)	鋼	第1加島	Bv	2	14.51+14.57+57.0	単線単純箱形合成桁
		将軍	Bi	3	56.8	〃
		大神	B	6	43.6+3×44.0+6×44.5+54.35, 10×44.5+53.2+53.55+54.9	〃
		島田	Bi	8	40.0+6×50.0+45.0+35.0	〃
	コンクリート	吉井川	B	1	35.0+4×(2×73.2)+40.0	単線 PC 箱形連続桁
		加古川	B	4	3×(3×55.6)	〃
		旭川	B	5	30.0+(49.5+3×55.2+49.5)+30.0	複線 PC 箱形連続桁
		林田川	B	7	3×51.7	複線 PC 箱形単純桁
山陽新幹線 (岡山~博多)	鋼	高梁川	B	3	44.0+5×72.4+15.55	複線単純上路トラス
		久米第4	Bv	6	64.0	複線単純箱形合成桁
		遠石	Bv	6	64.0	〃
		西松原	Bi	6	64.0	単線単純箱形合成桁
	コンクリート	錦町	Bv	1	(43.2+88.0+43.2)	複線 PC 箱形連続桁
		今坂第1	Bv	2	2×28.2+(57.2+82.0+57.2)+2×28.2	〃
		太田川	B	4	(69.0+55.0+3×66.0+55.0+62.0)	〃
		東京橋	B	5	(33.1+2×66.0+33.1)	〃
東北新幹線	鋼	第2北上川	B	2	9×101.0+60.0	複線単純下路トラス
		第1北上川	B	4	6×90.0	〃
		利根川	B	8	50.0+9×78.5+50.0	〃
	コンクリート	第2阿武隈川	B	1	(104.9+3×105.0+104.9)	複線 PC 箱形連続桁
		第3阿武隈川	B	3	(95.9+2×96.0+95.9)	〃
		白河	Bv	4	(53.4+90.0+53.4)	〃
		鬼怒川	B	6	(2×82.5)×4	〃
第3北上川	B	7	(62.4+3×80.0+62.4)	〃		
上越新幹線	鋼	新潟バイパス	Bv	6	75.2	複線単純下路トラス
	コンクリート	赤谷川	B	1	(55.2+30.0+126.0+30.0+55.0)	複線 PC 箱形逆ランガーアーチ
		太田川	B	2	(55.4+110.0+55.4)	複線 PC 箱形連続桁
		吾妻川	B	3	(109.5+109.5)	複線 PC T形ラーメン
		魚野川	B	4	(69.1+90.0+69.1)	複線 PC 箱形連続桁
		笹出線	Bv	5	(51.3+80.0+51.3)	〃
		鳥川	B	7	(71.2+4×72.0+71.2)	〃
		井野川	B	8	(44.0+70.0+44.0)	〃

(記) B : 橋梁, Bi : 線路橋, Bv : 架道橋

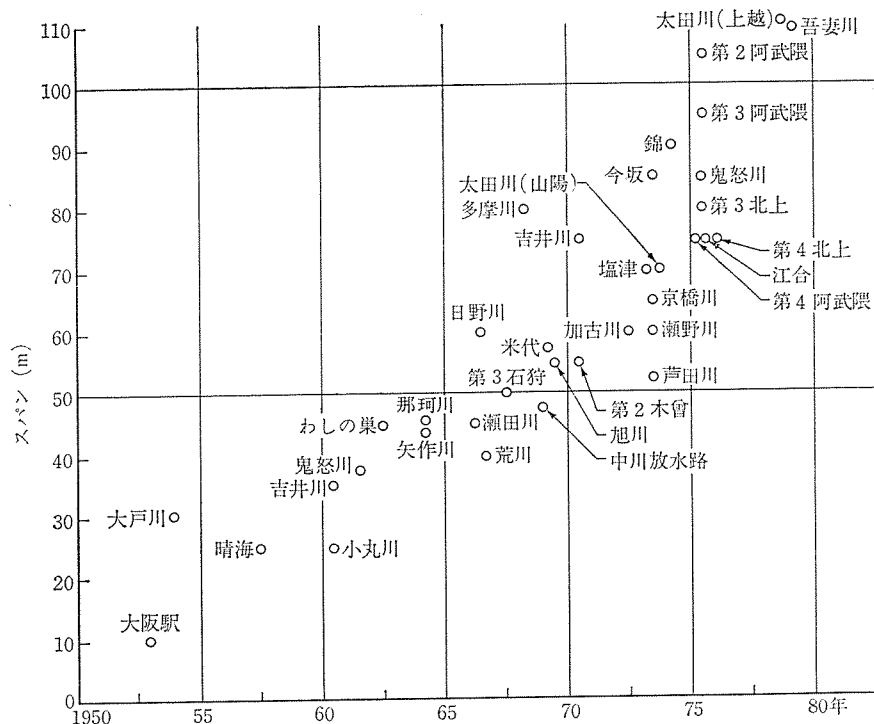
とですまされるものではなく、設計の細部において、いろいろと苦しい問題が出てくるものである。

例えば第2阿武隈川橋梁の支承には最大約 4400t の鉛直荷重を受けるものであり、橋梁工事費の 20% 以上が支承の費用になっている。さらにスパンが大きくなるとすれば、支承の費用は加速度的に高くなり、本体と支承の工事費のバランスがおかしくなるばかりでなく、実際問題として支承の設計ができなくなってしまふ。またスパンが大きくなれば急激に PC 鋼材量が増え、PC 鋼材の配置が苦しくなり、鉄筋の配置とともにコンクリートの施工が非常に困難になってくる。

このほかコンクリートのマスが大きくなり、水和熱の問題、収縮によるひびわれの問題等も十分に解決されているとは言えないようである。

このようにスパンが一まわり大きくなると、個々の問題が、二まわりも三まわりも難しくなっていくものであり、総合的に見ると、桁橋としては現在の技術水準において、おおむね限界スパンに来ていると判断せざるを得ない。

さらに長いスパンの橋梁については、橋梁形式の変更等が望ましい。このため、山陽新幹線では本線外に PC トラス(岩鼻架道橋)が架けられたり、在来線の新線建



図一 鉄道橋 PC 桁におけるスパンの変せん

設で PC 斜張橋（小本川橋梁）が架けられ、新しいタイプの PC 橋梁についての開発が行われている。これらは PC 長大橋の将来を示すものとしての価値は大きい。しかし細部についてはまだ残された問題も少なくなく、現状では試験的な段階を出ていないと言うべきであろう。

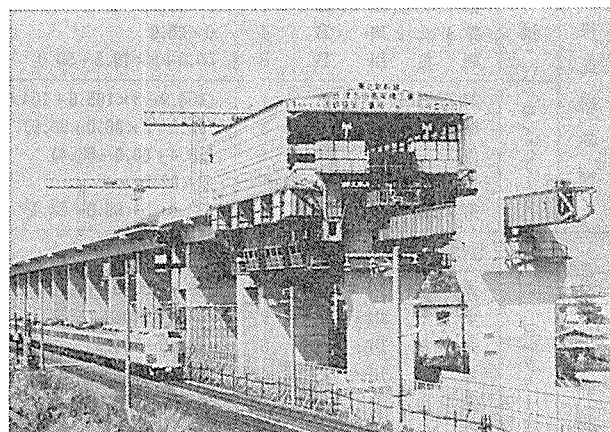
3. 一般橋梁

東海道新幹線以来、中小スパンの橋梁において PC 桁が採用されてきた。これらの橋梁はほとんどが I 形桁であり、エレクションガダー、またはクレーン等により架設されるものが多かった。東北新幹線においても、依然 I 形桁は PC 桁の主流をなしており、約 70% はこの種の桁である。

しかし一方では、新しい架設工法も開発され、これにより架設される橋梁の数も増えてきている。すなわち、移動支保工による架設、押出し工法による架設、また I 形桁で工場においてブロック製作したものを現場で接合して架設する工法といったものである。

I 形桁は箱形桁に比べ、材料的には必ずしも経済的であるとは言えないが、架設重量を減らせるという利点があるため、盛んに使用されてきた。しかし移動支保工工法、押出し工法等の新しい架設工法が開発されたために、これらの架設工法を採用した箱形桁の数が増えたのが、東北新幹線における一つの特徴である。

3.1 移動支保工工法



写真一 移動支保工による PC 桁の施工

移動支保工は、PC 桁をよい条件でより省力化して施工する目的で開発され、ほぼ等しい径間が多数連続する高架橋において使用されている。当初は、外国からの導入技術であるグリュストワーゲン、ストラバーク工法が用いられていたが、その後、国鉄あるいは業界において新しい工法も開発され、現在、5つの工法が実施されるようになっている。

この工法による高架橋は、大局的にはラーメン高架橋との比較となるものである。ラーメン高架橋は材料的にはかなり経済的であるが、施工の省力化という面では難しい面が多い。一方、移動式支保工による桁式高架橋は施工の省力化、冬期施工の面では有利であるが、材料の

面および架設設備の面では不利な要素をもっている。今後における移動支保工の使用については、労務費と材料費の変動がどのようになるかにもよるが、長い歴史をもつラーメン高架橋には捨て難い面もあり、当面はラーメン高架橋が主体となり、桁式高架橋が従として使用されていくものと考えられる。

3.2 押し出し工法

東北新幹線工事の後半期になって、押し出し工法による PC 桁の架設例が急速に増えてきた。東北新幹線における現在までの押し出し工法による架設径間数は 80 に及んでいる。

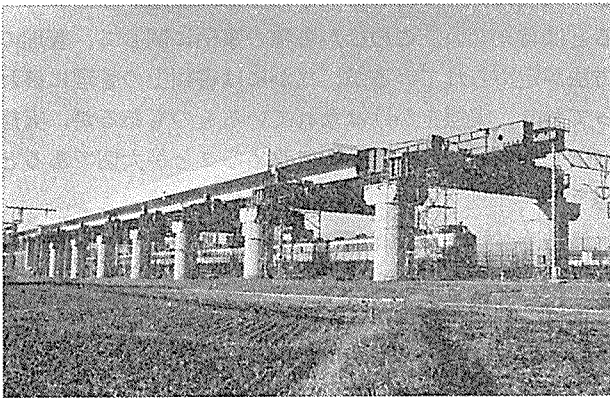


写真-2 押し出し工法による PC 桁
(東北新幹線細谷線路橋 スパン 25 m, 14径間)

PC 桁は架設中の曲げモーメントと完成後の曲げモーメントの形が類似している構造形体（カンチレバー架設、I 形桁の両端吊り架設）であれば、PC 鋼材の偏心量を有効に利用でき、構造体の経済性を発揮することができるものである。しかし、押し出し工法においては PC 桁を次々に押し出し、支点が移動するため、各断面が交番曲げモーメントを受けることになる。このため PC ケーブル配置の合理性が失われることになり、材料的に不経済となる。このようなハンディキャップをもちながら普及した理由は、架道橋、跨線橋の工事において、支保工を必要とせず、しかも、交差相手の建築限界を支障することなく工事が行えるという利点を生かしたためである。したがって、施工条件の制約の少ない場所においてこの工法が有利になり、今以上に普及するためには、施工能率の向上等によって架設費を一段と安くする努力が必要であると思う。

3.3 PC 桁のブロックによる工場製作

短期間に大量の PC 桁を製作するため、工場において PC 桁のブロックを製作し、現場において PC 桁を接合して架設する工法が増え、東北新幹線において現在までに約 120 連の PC 桁が架設された。これは PC 桁製作の合理化と現場工期の短縮をねらったものである。PC プ

ロックの接合にはエポキシ樹脂が採用されているが、接合部がある程度の弱点になることは避けられない。エポキシ樹脂によるコンクリートの接合はこれまでも行われていたものであるが、試験的使用の域を出なかったものを、東北新幹線において大量に使用したものである。この工法が定着するためには、架設した PC 桁の今後の経年にとまらぬ様子を十分に調査しながら、信頼性を確認していく必要がある。

4. 地震による教訓

東北新幹線の工事中、昭和 53 年 2 月 20 日（マグニチュード 6.7）と、同年 6 月 12 日（マグニチュード 7.4）の 2 回にわたって大きな地震を受け、震央から 100～150 km の範囲にある工事中的新幹線構造物にもかなりの被害を生じた。これだけの地震を受ければコンクリート構造物に多少の被害を生ずるのはやむを得ない。しかし、地震時における列車の走行に重大な支障をきたす恐れのある被害は避けなければならず、これらの地震による試練を受けたことは不幸中の幸いであり、技術的には一つの実物実験でもあった。

主な被害は、中小スパンの鑄鉄製支承にあり、震源に近い仙台以北の約 70 km 区間内において特に被害が多かった。これらの被害は支承が割れたもの、支承のつめが各個撃破されて破損し、桁が動いたものである。

長大橋においては、地震時における桁の大きな移動を防ぐため、オイルダンパーをつけたストッパーが採用されており、これらに大きな被害がなかったことから、オイルダンパーをつけたストッパーにより地震時水平力を分散して負担させる考え方の妥当性に対して一つの裏付けを得たことになる。

しかし中小スパンの橋梁では、昔ながらの支承の設計が行われていた点に問題があったので、設計の考え方を変える契機となったことは大変に貴重なことであった。

5. スラブ軌道

軌道保守の省力化のために、山陽新幹線以降スラブ軌道が採用されるようになってきた。今回の新幹線は寒冷地帯であるため、コンクリートのひびわれにより、スラブの耐久性が落ちることを防ぐため、プレストレスにより強化したスラブが採用されるようになった。スラブの工費を節約するため、ひびわれの発生を防ぐ程度の最少限のプレストレスを与えている。

スラブ軌道については、まだまだ実績も経験も豊富とは言えないので、今後、長年月にわたる使用経験を経なければ結果を明らかにすることができないが、軌道構造としてはこれまでの考え方とは非常に異なる考え方にな



写真—3 東北新幹線に使用されている PC スラブ軌道

っているので、技術的なアフタケアを行わなければならないであろう。

スラブ軌道を採用することによって、構造物の許容変位量がきびしく押さえられるようになったことは、構造物の設計に少なからぬ影響を与えているので、軌道構造と合わせて構造物の経済化をはかる努力が必要である。

6. おわりに

東北・上越新幹線の工事では、これまでになかった規模の長大橋が造られたり、新しい施工機械、施工方法を

開発、導入した。このことが PC 技術の発展に大きな役割を果たしたことはすでに述べたとおりである。

しかし、このようにはなやかな面における技術革新が果たされても、基礎となる技術の面においてどれだけの技術の改革がされたかという点になると、必ずしも十分であったとは言いきれない。

例えば、PC 構造物の耐久性に直接関係してくる、グラウト施工の施工管理の面などは、欠陥グラウトの PC 構造の例が出ているにもかかわらず、十分な改善がなされていない。

またコンクリートの配合についても、構造物の大きさ、気候条件等に合わせてきめ細かい配慮がなされているとは言えない。このほか各種の事柄に関して、管理の方法が定められているが、なかには書類上の管理に終わっており、実態をかけはなれているものもあるが、実態に即した管理を行えるように改めることが大切であると思う。

構造物が複雑になればなるほど、所要の品質を確実に造っていきける技術の開発、施工管理の確立がますます大事になってくるものであり、また、基礎になる技術をしっかりさせることが、先端の技術を安全にすすめるための後盾ともなるのである。

1981 年版 FIP 購読予約受付について

世界の PC の現状を知るためには FIP Notes が最も適当な資料と考えられます。数に制限がありますのでお早目に下記要領にてお申し込み下さい。予約価格は 4,800 円に改定されました。

- 1) 内 容：ロンドンに事務局を置く FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte の略) は、PC 技術普及発展のための国際交流機関で、その組織下にある各種委員会の活動状況や世界各国の技術水準を知るにふさわしい工事写真、報告、論文のほか各種国際会議の予定等が掲載されています。本協会が我が国唯一の加盟団体です。
- 2) 発 行：隔月刊 (年 6 回)
- 3) 体 裁：A 4 判の英文、頁数 12~16 (表紙除く)
- 4) 価 格：年間 (6 冊分) 4,800 円 (送料手数料共)
- 5) 申 込：希望者は「ハガキ」に必要な部数、送付先、(〒)、氏名、所属会社名記入のうえ協会事務局 (電 03-261-9151) へ、送金は三井銀行銀店支店 (普通預金) 920-790。新規に申し込まれる方は、至急御連絡下さい。