東北・上越新幹線のコンクリート 構造物における新技術

小 林 明 夫*

概 要 東北・上越新幹線は、オイルショック等の諸事情から、着工以来 11 年を経て開業した。本稿は、積雪寒冷地での新幹線の高速走行を考慮した軌道、基礎、けたの設計・施工、長大橋りょうの架設方法の開発、中スパン橋りょうの省力化工法の導入および開発、急速施工法について述べた。

キーワード：新幹線、標準設計、スラブ軌道、貯雪式高架橋、散水消雪、連壁剛体基礎、斜吊り P C 鋼棒架設、移動式支保工、押出し工法、兼用シュール、急速施工

1. ま え が き

東北新幹線（大宮—盛岡間約 470 km）は昭和 57 年 6 月 23 日、上越新幹線（大宮—新潟間約 270 km）は同じく 11 月 15 日に開業した。全国新幹線鉄道整備法の成立によって、経済の高度成長を背景に昭和 46 年 11 月から 12 月にかけて両新幹線工事が着手されたものの、在来新幹線の実績から予想した約 5 年の工期とは大幅に異なり、約 11 年の歳月を費やして開通したものである。

東北・上越新幹線は、東京からは初めて北上あるいは国土横断をする交通路であり、首都圏に接しているにもかかわらず、自然条件の厳しさ、交通機関の未整備などの理由から十分な経済の発展が行われない地方への交通手段として、期待がかけられていた。しかし、いわゆるオイルショックを契機とした工事費の高騰、公共事業の抑制、沿線の住民運動の影響による用地取得の問題等が工事に大きく影響した。その結果、当初の目標である東京駅での在来新幹線との連絡はせず、とりあえず大宮を起点とする暫定開業としたものである（図—1）。

ルートの特長は、① 在来新幹線に比較して積雪寒冷地帯を通過すること、② 在来線とともに阿武隈川、北上川等の水系に沿っているため、在来駅に併設するためには運転速度から定まる曲線半径が大きく、どうしてもスパンの大きい橋りょうで河川を横断せざるを得ないこと、③ 上越新幹線のように、山間部では線路規格の最急勾配を連続させてもトンネルが多くかつ長大となるこ

* 正会員 日本国有鉄道構造物設計事務所

図—1 東北・上越新幹線ルート

と、④ 橋りょうも谷間を横断する長大橋りょうが多いこと、等である。

東北・上越新幹線の在来新幹線との相違の主なものを列挙すれば次のとおりである。

- 1) 建設から保守までの全経費の低減をはかるため、スラブ軌道を大幅に採用して土工区間を減少させた結果、表—1 に示すように高架橋区間が増大した。
- 2) 施工基面高は、在来線駅への併設、都市計画道路

表—1 各新幹線の構造物比較

構 造 種 別	東海道新幹線 (東京—新大阪間)		山 陽 新 幹 線 (新大阪—岡山間)				山 陽 新 幹 線 (岡山—博多間)				東 北 新 幹 線 (大宮—盛岡間)				上 越 新 幹 線 (大宮—新潟間)			
	延長 (km)	比率 (%)	軌道別 (km)		延長 (km)	比率 (%)	軌道別 (km)		延長 (km)	比率 (%)	軌道別 (km)		延長 (km)	比率 (%)	軌道別 (km)		延長 (km)	比率 (%)
			バラスト	スラブ			バラスト	スラブ			バラスト	スラブ			バラスト	スラブ		
土 工	274	53	12	0	12	7	54	4	58	14	2	24	26	6	0	0.2	0.2	—
橋 り ょ う	57	11	20	0	20	12	16	15	31	8	9	65	74	15	3	27	30	11
高 架 橋	116	23	71	3	74	45	45	41	86	22	33	225	258	55	13	122	135	50
ト ン ネ ル	69	13	53	5	58	36	10	213	223	56	1	111	112	24	0	105	105	39
計	516	100	156	8	164	100	125 (31%)	273 (69%)	398	100	45 (10%)	425 (90%)	470	100	16 (6%)	254.2 (94%)	270.2	100

(注) 1) 東海道はすべてバラスト軌道である。

2) 東北・上越のスラブ軌道は弾直軌道を含む。

との交差等を原因として高くなった。平均高さは、東海道新幹線の約 7 m に対して約 10 m である。

- 橋りょうは、環境保全のため、できるだけコンクリートげたを採用した。けた架設に関して、軽さが有利となる場合、線路上横断の場合、その他特殊な場合等は、遮音工を施した鋼げたを一部採用している。
- 長い区間にわたって積雪寒冷地域を通過するため、降雪時も平常運転が可能ように対策を講じた。
- 新技術としては、コンクリートげたに関しては移動支保工、押出し工法、急速施工法等、基礎に関しては連壁剛体基礎の採用、軟弱地盤での対策、トンネルでは NATM 工法の採用であった。
- 地震時対策としては、通常の構造設計上の対策のほかに、海岸線に地震計を設置し、内陸の新幹線に地震波が伝わる前に列車速度を安全な速度に下げるシステムの開発を行った。
- オイルショック

2. 建設基準

2.1 設計条件

N 標準活荷重

P 標準活荷重

図—2 標準活荷重の軸配置

設計条件でも在来新幹線との相違があった。標準列車荷重は、在来新幹線では N、P-16 の軸重としていたが、今回は積雪地帯で 260 km/h 運転に対応できるように、図—2 に示すように N-16、P-17 とし、設計荷重としては、定員外乗車も考慮して N-18、P-19 とした。疲労に対しては P-17 とした。遠心荷重、制動・始動荷重等も、軸重の増加に伴い変更した。その他、曲線半径 4 000 m、最急勾配 15 % とし、縦曲線半径は在来新幹線と同じ 15 000 m である。

死荷重としては、有壁一盛岡間（岩手県下）のスラブ

New Constructing Method developed and adopted for the Tohoku & Joetsu Shinkansen

By Akio Kobayashi

Concrete Journal, Vol. 21, No. 11, pp. 35~48, Nov. 1983

Synopsis It took 11 years to complete the Tohoku & Joetsu Shinkansen Line, because of oil pannic and another social surroundings. This paper reports about design considerations and construction methods of track system, foundation and concrete beam, considering the high speed running in the cold and heavy snow environments, constructing method of long span bridge, energy saved constructing method of middle span bridge, and rapid constructing method etc..

Keywords : Shinkansen, standard design, slab track system, snow deposit type viaduct, snow melt by sprinkling water, box-type rigid foundation by a diaphragm wall, constructing method by oblique hanging cables, travelling form work method, incremental launching method, temporary-principal shoe, rapid constructing method

表-2 鉄筋のかぶり

種 別	かぶり (mm)
高 欄 (内外とも)	30
ス ラ ブ 上 面	40
ス ラ ブ 下 面	30
は り, 柱	50
フ ー チ ン グ	75

表-3 列車を支持する部材の許容不同変位目標値

(a) 一般

変位の方向	列車速度 (km/h)	目違い (mm)	折 角 (θ) (1/1000)			
			平 行 移 動		折 込 み	
			$l < 30 \text{ m}$	$30 \text{ m} \leq l$	$l < 30 \text{ m}$	$30 \text{ m} \leq l$
鉛 直	70	2	9	9	9	9
	110		7.5	9	9	9
	160		5	6	6.5	7
	210		4.5	4	5.5	4.5
	260		3.5	3	4	3
水 平	70	2	6	6	6	6
	110		4	5.5	5	6
	160		3	3	3.5	4
	210		2.5	2	3	2.5
	260	1.5	2	1.5	2.5	2

注1) 表の値は静的不同変位量と列車荷重により生ずる変位量との和に対するものである。

2) 用語の意味は次図のとおりである。

3) l はけた長またはラーメン高架橋のブロック長等を表す。

(b) 地震時

変位の方向	列車速度 (km/h)	目違い (mm)	折 角 (θ) (1/1000)			
			平 行 移 動		折 込 み	
			$l < 30 \text{ m}$	$30 \text{ m} \leq l$	$l < 30 \text{ m}$	$30 \text{ m} \leq l$
鉛 直	70	20	20	20	20	20
	110		20	20	20	20
	160		18	16	20	18
	210	16	12	10	14	11
水 平	260	11	8.5	7	9.5	7.5
	70	10	12	12	12	12
	110		9	12	11	12
	160		6.5	7.5	8	9.5
	210		5.5	5	6.5	6
	260	6	4.5	4	5.5	4

目違い

平行変位

折れ込み

軌道区間は路盤コンクリートを厚くして貯雪空間を設け、雪荷重としては 180 kg/m^2 とした。有壁一盛岡間以外の一般区間では、路盤コンクリート厚を 10 cm とした。上越新幹線では、雪に対しては、基本的には融雪装置で対処した。

鉄筋のかぶりは寒冷地仕様として、表-2 に示ような値とした。特にスラブの上面は、スラブ軌道を採用し

たことによって排水勾配コンクリートがなくなるため、スラブ下面のかぶりより大きくした。

また、スラブ軌道の採用により、橋りょう、高架橋等の構造物は、これまでの剛性規制のほかに、乗心地や走行安全性を考慮した構造物間の許容不同変位量を定め、表-3 に示すように目違い量、折れ角を制限した。

表-4 に、東北・上越新幹線の橋りょう、高架橋の施工延長を、表-5 に橋りょう、高架橋のけた架設連数を示した。

2.2 標準設計

以上のような設計条件に従い標準設計を行った。標準設計は、一般区間と積雪区間、スラブ軌道とバラスト軌道別に作成したため、非常に多種類に及んだ。曲線半径 4000 m で設計を行ったが、適用の拡大をはかるため、直線部にもこれを適用した。けたの軌道に対する角度は原則として直角とし、斜角げたについては行わなかった。

(1) RC げた

RC げたの標準設計は、スラブげた、T げた、箱げたの3型式について、けた長は軌道スラブの1枚の長さ 4 m と 5 m の組合せの長さを考慮した。スラブげたは9種類、T げたは23種類、箱げたは18種類の合計50種類で、いずれも単線として設計した。

標準設計以外の特殊げたは、駅構内の台形げた、斜角げた、曲線半径 4000 m 以下の曲線を支持するけたが大部分である。また、移動支保工による $20 \sim 25 \text{ m}$ のRC箱げた、宮城県内の軟弱地盤に施工されたRC連続げた等が含まれている。

(2) ラーメン高架橋

ラーメン高架橋は2線2柱式とし、スラブ軌道、バラスト軌道の軌道構造別、構造形式では背割式、片背割式、ゲルバー型式(ゲルバーげた長 10 m)、高さ別では1層ラーメンの 7.0 m から2層ラーメンの 18.0 m までの7種類、高架橋1ブロックの長さは 25 m (3径間)、 30 m (3径間)、 35 m (4径間) までの多くの組合せによって、89種類にも及んでいる。1ブロックの長さは、軌道スラブの1枚の長さ 5 m の倍数としている。径間数は、温度、乾燥収縮の影響を考慮した荷重組合せによって決定されたものである。高架橋基礎は直接基礎とくい基礎の2種類であるが、くい基礎は、線路直角方向の2本の柱を1基礎で支持する連結基礎型式で、くいは既製くいを使用している。

特殊高架橋としては、駅部高架橋のように多径間を要するもの、柱を1本の場所打ちぐいで支持するもの等がある。駅部高架橋は、北上駅の1層型式から仙台駅の4層型式まで、使用材料も大宮、仙台、盛岡の各駅はSRC構造、他はRC構造である。

表—4 橋りょう・高架橋施工延長

(a) 東北新幹線

けた種別	延 長 (km)									割 合 (%)				
	橋 り ょ う			高 架 橋			計			橋りょう	高架橋	スラブ	バラスト	合 計
	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計					
R C ラーメン (ゲルバーげたを含む)	0.8	0	0.8	153.2	24.0	177.2	154.0	24.0	178.0	1	66	56	40	53
R C げ た	9.0	2.5	11.5	58.6	18.6	77.2	67.6	21.1	88.7	18	29	25	35	27
P C げ た	37.9	7.3	45.2	8.9	5.0	13.9	46.8	12.3	59.1	70	5	17	20	18
合 成 げ た	2.9	1.0	3.9	0.5	—	0.5	3.4	1.0	4.4	6	0	1	2	1
鋼 げ た	1.0	1.9	2.9	—	—	—	1.0	1.9	2.9	5	0	1	3	1
合 計	51.6	12.7	64.3	221.2	47.6	268.8	272.8	60.3	333.1	100	100	100	100	100
割 合 (%)	80	20	100	82	18	100	82	18	100					
	19			81			100							

(b) 上越新幹線

けた種別	延 長 (km)									割 合 (%)				
	橋 り ょ う			高 架 橋			計			橋りょう	高架橋	スラブ	バラスト	計
	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計					
R C ラーメン (ゲルバーげたを含む)	0.2	0.3	0.5	70.9	25.6	96.5	71.1	25.9	97.0	2	77	64	62	64
R C げ た	3.9	1.0	4.9	14.1	5.5	19.6	18.0	6.5	24.5	18	15	16	15	16
P C げ た	14.8	6.5	21.3	6.4	2.0	8.4	21.2	8.5	29.7	78	7	19	20	19
I ビーム埋込みげた	0.1	0.5	0.6	0.1	0.6	0.7	0.2	1.1	1.3	2	1	1	3	1
計	19.0	8.3	27.3	91.5	33.7	125.2	110.5	42.0	152.5	100	100	100	100	100
割 合 (%)	70	30	100	73	27	100	73	27	100					
	18			82			100							

表—5 橋りょう・高架橋けた架設連数

(a) 東北新幹線

けた種別	標 準 設 計			特 殊 設 計			計			割 合 (%)					記 事
	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計	標準	特殊	スラブ	バラスト	計	
R C げ た	4 037	713	4 750	437	415	852	4 474	1 128	5 602	81 (85)	48 (15)	75	69	73 (100)	ラーメン高架橋のゲルバーげたを除く 連続げたは1スパン を1連とした
P C げ た	973	125	1 098	412	325	737	1 385	450	1 835	19 (60)	42 (40)	23	28	24 (100)	
合 成 げ た	—	—	—	106	30	136	106	30	136	0 (0)	8 (100)	2	2	2 (100)	
鋼 げ た	—	—	—	15	23	38	15	23	38	0 (0)	2 (100)	0	1	1 (100)	
計	5 010	838	5 848	970	793	1 763	5 980	1 631	7 611	100	100	100	100	100	
割 合 (%)	86	14	100	55	45	100	79	21	100						
	77			23			100								

(b) 上越新幹線

けた種別	設 計 種 別									割 合 (%)					記 事
	標 準 設 計			特 殊 設 計			計			標準設計	特殊設計	スラブ	バラスト	計	
	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計	スラブ	バラスト	計						
RC げた	883	67	950	123	367	490	1 006	434	1 440	66 (66)	53 (34)	62	59	61 (100)	ラーメン高架橋のゲルバーげたを除く 連続げたは1スパンを1連とした
PC げた	412	75	487	205	187	394	617	264	881	34 (55)	43 (45)	38	36	37 (100)	
I ビーム埋込みげた	—	—	—	—	38	38	—	38	38	0 (0)	4 (100)	0	5	2 (100)	
計	1 295	142	1 437	328	594	922	1 623	736	2 359	100	100	100	100	100	
割合 (%)	90	10	100	36	64	100	62	38	100						
	61			39			100								

(3) PC げた

PC げたは、使用頻度の高い I げた、箱げたについて、複線分を 1 体として行った。I げたでは、スパン 14.4~34.2m は 4, 6, 8 主げたの 3 種類、スパン 39.2m 以上は 8 主げたとしている。複線げたは、4 主げたが材料費、PC ケーブルの配置の点から有利で、スパンけた高比は 1/12 程度である。6, 8 主げたはやや不経済となるが、けた高制限を受ける場合に使用できるものとして、けた高スパン比は、それぞれ 1/14, 1/17 程度である。しかし、I げたの場合、架設クレーンの能力、架設時の安定性等を考慮して、主げた 1 本当たり 150t に制限している。PC I げたのバラスト軌道用としては、地盤条件の悪い箇所での使用を想定し、不等沈下、地震時の水平移動量が大きくなることを考慮して、スパンの短いものは単線用とし、スパン 24.2m 以上を複線とした。使用材料として、主ケーブルは 12 T 15.2 を用い、横締めケーブルとして従来の PC 鋼棒に代えてシングルスト

表—6 PC げたの適用拡大 (スラブ軌道用)

(a) PC 箱げた

標準設計スパン (m)	-4m	-3m	-2m	-1m	+1m	+2m
33.71	—	—	—	—	△	□
38.71	(-10)	(-8)	(-6)	(-4)	△	□
43.71	(-12)	(-6)	(-6)	(-4)	△	□
48.71	(-12)	(-8)	(-6)	(-4)	△	□
53.71	(-8)	(-6)	(-4)	(-2)	△	□
58.56	(-8)	(-6)	(-4)	(-2)	—	—

(b) PC I げた

標準設計 スパン(m)	主げた 形式	-4m	-3m	-2m	-1m	+1m	+2m
14.4	4	—	—	—	—	△	□
	6	—	—	—	—	(□)	×
19.4	4	(-2)	(-2)	(-1)	(-1)	△	□
	6	(-2)	(-2)	(-2)	(-1)	△	□
24.2	4	(-2)	(-1)	○	○	□	×
	6	(-2)	(-2)	(-1)	○	□	×
29.2	4	(-1)	(-1)	○	○	△	□
	6	(-1)	(-1)	(-1)	○	△	△
	8	(-1)	(-1)	(-1)	○	(□)	×
34.2	4	(-1)	(-1)	○	○	△	□
	6	(-1)	(-1)	○	○	△	△
39.2	8	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	△	(□)
	8	(-1)	(-1)	○	○	△	△
44.2	8	(-1)	(-1)	(-1)	○	△	(□)
49.2	8	(-1)	(-1)	(-1)	(-1)	—	—

〔スパン増の場合〕

△ 導入力を増す。

(□) * $\rho_{ck}=450 \text{ kg/cm}^2$ にすれば

$R=4000 \text{ m}$ 可

□ * 直線軌道のみ可

〔スパン減の場合〕

○ 導入力を減らす。

(-6) ○内の数値のケーブル本

数を減らす。

× 使用不可能

ランドも使用できるようにした。

箱げたは、比較的スパンが長い場合に使用するものとして、スパン 33.7~58.5m の 6 種類について行った。

PC I げたの標準設計に関しての特徴は、スパンの適用拡大をはかるため、スパンの縮小 4m まで、拡大 2m まで使用できるようにしたことである。標準設計を作製しても、施工地点の条件によっては標準スパンが適用できず、1 ランク上位のスパンが用いられるか、あるいは標準スパンの中間の特殊なスパンとして新しく設計するために不経済となる。そこで、けた断面形状、PC ケーブル配置、鉄筋配置を変えず、スパンの増減を 1m 単位でスパンの中央で行うこととした。表—6 に適用の拡大方法を示すが、スパン増の場合は余力ある PC ケーブルの緊張力を増し、スパン減の場合は、PC ケーブルの本数あるいは緊張力を減らすことによって対応することにしたものである。

PC げたの特殊橋りょうとしては、長大橋りょう、施工の省力化、高能率化を目指した押出し工法、移動支保工による橋りょう、急速施工による橋りょう等がある。

(4) シュー

標準げたと同時に標準シューの設計も行った。けたの反力、伸縮量に応じて分類し製作準備することにより、同一規格のシューを建設工程に合わせて供給でき、しかも、品質管理も容易で製作費も低減できるメリットがあった。昭和 53 年 2 月と 6 月に発生した宮城県沖地震は仙台を中心に多くの被害を与えたが、構造物の被害は、けた、橋脚にも及び、特にシューの損害はかなりの数にのぼった。シューは、中小スパンでは以前から鑄鉄シューを使用していたが、シューのずれ止め部に破損、ひびわれ等を生じ、PC I げたの主げたの上シューと下シューのずれ止めの遊間のばらつきのため、いわゆる各個撃破によって発生したものと推定された。そのため、検討の結果、PC 橋りょうの支承部はストッパーとシューの併用を基本とし、水平力はストッパーで負担させ、シューは鉛直反力だけを支持する構造とした。

3. 東北・上越新幹線のコンクリート構造に関する新技術

東北・上越新幹線は、在来新幹線と異なって、走行速度の向上と、それに伴う車両の重量化、多降雪地帯の通過等の諸条件が加わったが、これらに対しては、快適な乗心地の提供、積雪による運転阻害をなくすための努力が払われた。また、オイルショック以降の物騰のため、より合理的な設計・施工が要求され、軌道、雪対策、基礎、コンクリート橋を含めた多くの分野で、新技術の導入あるいは開発が行われた。ここでは、これらについて順を追って述べる。

3.1 スラブ軌道

スラブ軌道は、バラスト軌道に代わる軌道として、近年その普及率が高い。バラスト軌道は、列車速度の向上、回数の増加、重量の増加等が原因で軌道狂いが進み、軌道保守費が高額となってきているため、その対策として開発・実施されており、在来線、新幹線ともに、その敷設実績は高くなってきている。表—1 に新幹線での推移を示しているが、東北・上越新幹線では、延長の90%以上敷設されている。設計荷重としては、スラブ軌道はバラスト軌道に対して少なく、東北新幹線の一般区間（大宮—有壁間）では、軌きょう、軌道スラブ、路盤コンクリート重量の合計は 4.1t/m（1軌道）に対して、バラスト軌道では 7.3t/m（1軌道）となり、その差の分だけ構造物に対し有利な設計ができる。

在来新幹線との差異は、スラブに対して寒冷地対策を行ったことで、① 軌道スラブの鉄筋のかぶりを従来の 20 mm から 30 mm とし、スラブ厚を 160 mm から 190 mm としたこと、② RCスラブとした場合、ひびわれからの水の進入により凍害が発生する恐れがあるので、ひびわれ幅を制限したⅢ種P C（PRC）構造としたこと、③ スラブの下面に敷設する注入モルタルには、均一な空気泡を一定間隔に混入できる寒冷地用セメントアスファルトモルタル（CAM）を開発したこと、④ 橋りょう上の路盤面の水が CAM に浸透して凍結を起こす可能性のあることから、路盤面上 10 cm 以上の路盤コンクリートを施工したこと、等である。PRC スラブは、東北新幹線では宇都宮以北の“明り区間”に、上越新幹線では榛名トンネル以北の“明り区間”に敷設した。

東北・上越新幹線とも、軌道はスラブ軌道を基本としたが、レールの許容不同変位量は表—3 に示すように厳しいものであり、軌道の変位を規制することは、そのまま構造物の変位を規制することになり、構造物の設計に対して影響が大きかった。地盤条件によっては構造物の不同変位量が大きく、許容値を超えるような、技術的・経済的に不利な場合はバラスト軌道とした。

スラブ軌道は、高架橋、トンネル等のコンクリート路盤には早く適用されてきて、切り取り・盛土等の土工区間では、土路盤の沈下に対して問題があったので見送る傾向があった。しかし、今回は土工区間にスラブ軌道を導入する努力が行われ、その結果、図—3 に示すように連続コンクリートスラブ（CC 路盤）の施工となった。これは、切り取り区間で地盤が比較的弱い区間にもスラブ軌道を敷設するため、土路盤に支持力を期待せず、くいで支持した CC 路盤上に一般の軌道スラブを敷設するものである。

さらに、新幹線工事の後半になって開発された弾性まくらぎ直結軌道は、スラブ軌道と同様な直結軌道であり

図—3 土路盤上連続スラブ上スラブ軌道

写真—1 弾性まくらぎ直結軌道

ながら、バラスト軌道と同程度の騒音・振動に対する機能が期待される軌道である。写真—1 に示すように、路盤上にあらかじめ打設した函型コンクリートの中に、周囲を弾性被覆材を接着したコンクリートまくらぎ（弾性まくらぎ）を配置し、弾性被覆材の高さまでコンクリートを填充して周辺を碎石で覆ったものである。写真は碎石で覆う前の状況である。この軌道は、まだ実用の緒についたばかりで、東北・上越新幹線とも 36 km、23 km の区間で試験的にっており、今後の研究が望まれる。

3.2 雪対策

東北・上越新幹線では、雪対策がもっとも重要な課題であった。厳しい気象条件のもとで正常な運転を確保するために、① 列車の高速運転が常時可能で、メンテナンスフリーの軌道構造、② 経済的な線路設備、等の研究開発を進めてきた。

図-4 貯雪式高架橋

写真-2 貯雪式高架橋（路盤コンクリートが厚くなっている）

（1）貯雪式高架橋²⁾

東北新幹線では、基本的には貯雪式を採用した。図-4、写真-2 に示すように、スラブ軌道の軌道スラブの下に路盤コンクリートをその地方の積雪深に応じて設け、路盤コンクリートの両側にできる空間を利用して、雪を貯めおく方式であり、積雪の多い岩手県下に適用した。この地方の最大積雪深の10年確率値は、一の関 30 cm、江刺・盛岡 59 cm、北上 73 cm、平年値で、それぞれ 20, 33, 51 cm であって、この程度であれば、1時間に1本程度の列車ダイヤを想定すると数 cm の雪の量であるから、スノウプラウによって自力排雪できること、高架橋の両側にはコンクリート高欄が設置されていて外へ排出できないこと等の理由で貯雪式高架橋を採用することとした。

（2）散水式消雪設備

上越地方は最大積雪深 4 m 以上、日最大降雪量が 1 m にも及ぶ日本有数の豪雪地帯であり、東北新幹線でもバラスト区間の貯雪能力は小さく、貯雪方式は採用できない。上越新幹線の散水消雪設備は、降雪を検知し、写真-3 に示すようにスプリンクラーで自動的に適量の散水を行うとともに、その状況を遠方で監視制御できるシステムとなっている。散水消雪基地は、新潟県下 80 km にわたって 32 箇所を設置されていて、本線用散水基地の担当範囲は、① 返送水が高架橋上を自然流下によって回収可能であること、② 返送水が CAM を侵さない

写真-3 散水消雪設備（スプリンクラーが見える）

写真-4 戸座川橋りょう

こと、③ 指令が発せられてから散水開始までに要する時間、④ 送水温度の低下、⑤ 夏期の雨水散水、等を総合的に検討して約 3 km としている³⁾。

東北新幹線の場合はバラスト区間の延長が短く、北上駅付近の約 3 km である。

（3）防雪設備

上越新幹線は、群馬県から新潟県にかけてトンネルが多く、急峻な山岳地帯を通過するため、トンネルとトンネルの間の“明り区間”も小溪谷を渡るにすぎない。このような箇所では、トンネルの出入口は山腹の斜面で雪崩の危険にさらされることになる。このような箇所には、スノーシェッドの機能も兼ねた戸座川橋りょう⁴⁾（写真-4）のような下路箱げたが計画された。構造形式は、列車が雪崩の影響を受けないよう箱形筒状をしており、列車はその内空を走行する構造となっており、PC 単純箱げたとし、その前後のトンネル接続部はスノーシェッドとなっている。このような橋りょうは鉄道橋としては例がなく、そのため、次のような問題点が考えられた。つまり、① 箱形内部を通過するため、けた内部に隔壁を設けることができず、橋軸方向の変形のほかに橋軸直角方向の変形による応力が考えられること、② 下スラブは、橋軸方向のけたとしての応力のほかにスラブとしての応力が加わること、③ スパンけた高比が小さい (3.44) ため、ディープビームとしての性状が予想さ

れること、等であった。そこで、アクリル樹脂による模型実験、はり理論による応力解析、シャイベ理論による応力解析、FEMによる応力解析を行った結果、① 箱形の4枚のスラブは、全体にフルプレストレスの状態として引張応力度を打ち消す、② 載荷荷重については、橋軸直角方向に対しラーメン構造として解析した応力に対して圧縮力を与えており、面外応力については、プレストレス力によるポアソン比に相当する応力によって打ち消すものとして考慮しない、③ ディープビームの性状については、支点からけた高に相当する範囲をシャイベ理論によって解析、④ せん断応力は曲げ応力ほどその影響は小さくなく、けた高スパン比が3より大きいので、はり理論に従う、⑤ 軌道直角方向は、支付近以外は、ウェブ下端で単純支持されたラーメンとする。支点部は、ダイヤフラムの厚さを考慮した軸線で形成されるラーメンとする、等の設計方針のもとに設計を行った。

以上から、箱げた全体をPC構造とし、主ケーブル34本、下スラブ横締めケーブル53本、ウェブ縦締め408本、上スラブ横締め57本と多いので、施工時にはプレストレスが全体に行きわたるよう、全体を分割して緊張した。施工中および完成後の試験では、主方向のプレストレス導入時の応力状態は計算値とほぼ一致しており、横方向ラーメンのプレストレスおよび載荷実験でも理論計算値に対して妥当な結果が得られた。

戸座川橋りょうと同様なスノーシェッドは谷川橋りょうにも設けられたが、戸座川と異なり深い谷に架設され、両岸は岩盤で急崖なため、まずPCIげたを架設し、これを足場として列車を覆うラーメン部分を施工し、一体としたものである。

3.3 基礎

(1) 連壁剛体基礎⁹⁾

新幹線は、構造物の変位量が厳しく規制されているため、基礎構造物は大型化する傾向にある。また、工期の面から急速施工が要求されるが、基礎の変位を小さくするためには、地山を乱さない工法が望まれている。大型基礎のケーソンは、このような要求を必ずしも満足する工法ではなかった。この対策として、福島駅付近の飯坂街道架道橋では、連続地中壁を利用した剛体基礎が初めて施工された。ケーソン基礎に対する利点は、① 機械掘削作業のため、潜函病等の労災がない、② フリクションカッターを取り付けないため周辺地盤をゆるめず、したがって壁の周面せん断抵抗が大きい、③ 掘削土量が少なく、工期が有利、④ スレンダーな設計が可能、⑤ 狭あいな箇所でも、支持層が深くても施工可能、等である。一方、① 施工が泥水中で行われるため、掘削状況を目視確認できない、② 高度の掘削技術と施工管理を要する、③ 先端のスライム処理と底面積が小さい

写真—5 連壁剛体基礎（壁鉄筋の建込み）

ため、支持力のほとんどを側面せん断抵抗に依存する、等の問題があった。当現場では、掘削機に鉛直性を測定する計器を取り付け、施工精度を向上させ、安定液はポリマーをベントナイトに混合させることにより掘削壁を安定させた結果、スライム処理も十分に行え、底面支持力を期待できた（写真—5）。

飯坂街道架道橋は、労災をきっかけとしてケーソン基礎から連壁剛体基礎に変更したもので、その結果、同様な地盤条件のもとでの性能比較ができた。ほぼ同規模のケーソン基礎 ($l=25.0\text{ m}$, $\phi 10.7\text{ m}$) と連壁剛体基礎 ($l=24.0\text{ m}$, $\square=10\times 10\text{ m}$) の比較を1200 t 載荷試験により行ったが、ケーソン基礎が水平変位18 mm、残留変位10 mm程度であったのに対して、連壁剛体基礎では、それぞれ4, 0.3 mmときわめて少なく、連壁で囲まれた部分の土が水平力に対して有効に働くものと判断された。

連壁剛体基礎は未経験な分野が多く、設計上の理論上の解明もさらに必要と思われるが、実績を踏むため、現在、大宮以南の新幹線工事で施工中であり、構造、地質、現場条件がそろえば経済的な方法と言われ、今後多く採用される可能性がある。

(2) 軟弱地盤上の橋りょう⁹⁾

新幹線の高速走行のため、曲線半径は大きく、ルートも軟弱地盤上に選定せざるを得ない場合がある。仙台南の金ヶ瀬高架橋は延長200 m、深さ15 m（上部8 mはピート層、下部7 mはシルト層）のオボレ谷にかかり、鉛直荷重に対しては十分な支持力を期待できるが、水平荷重に対しては20数cmも移動することが考えられた。その対策として、基礎の変位が上部工に及ばないよう、橋りょうの両端は堅固な直接基礎の橋台で支持し、

写真-6 金ヶ瀬橋りょうの上シュー

けたは全長 221 m の 11 径間連続の RC 箱けたとし、けたと橋脚は線路方向にも線路直角方向にも大きくスライドできる BP シューで支持するものとした。このため、シューは鉛直反力だけを負担することになり、地震時に橋脚が大きく変位しても、けたは列車走行のための折れ角を満足できるものである。そのため、けたの下シューは直径 1 m であるのに対し、上シューは直径 1.8 m (写真-6) の大きさとなった。けたの横断面は複線 3 箱形からなり、橋台とけた端部は大きな切欠きをもって線路直角方向の地震力を負担し、線路方向には橋台とけたを継ぐ PC 鋼線を配置して線路方向の引張力に抵抗し、圧縮力にはゴム板で支持する構造である。この橋りょうは宮城県沖地震の経験をしていないが、軟弱地盤対策の一例として紹介した。

3.4 橋りょう

東北・上越新幹線で建設された橋りょうの特長は、① 大スパンの橋りょうが多いこと、② 新しい施工法が試みられたこと、③ 過去いくつかのプロジェクトの中には用地買収の遅延のため開業時期間際まで工事が着手できず、結局突貫作業で間に合わせた事例があるが、今回も大宮付近で急速施工となったこと、④ 景勝の地に美観を考慮した赤谷川橋りょう、施工基面から道路面までの空頭の制限が特に厳しく特殊な設計をした橋りょう等、多種多彩な橋りょうがみられたこと、等である。

3.4.1 長大橋りょう

最大スパン別の連続 PC けたの数量をまとめたものを表-7 に示すが、東海道新幹線の場合は鋼けたが多く使われていた。山陽新幹線になって、今坂橋りょう (最大スパン 82.0 m) 等がようやく現れたが、今回の新幹線では、その数はずっと増えている。その理由としては、① 新幹線ルートと、大河川とその水系の河川の間とが、ほぼ同方向で斜めに横断するケース、大きな溪谷を横断するケースが多いこと、② これら河川を横断する際、河川管理者と協議の結果、計画雨量は 100 年確率を基本とし、河川阻害率も 6% としたため、橋脚本数が減

表-7 最大スパン別の連続 PC けたの数量比較

名称	最大スパン (m)	60以上 70未満	70以上 80未満	80以上 90未満	90以上 100未満	100以上	計
東海道 山陽 (新大阪-岡山)		0	0	0	0	0	0
山陽 (岡山-博多)		0	1	0	0	0	1
東上 北越		2	0	2	0	0	4
		7(2)	6	2	2	1	18(2)
		5(2)	3	1	1	3	13(2)

注) カッコ内は押し出し工法による橋りょう数。

写真-7 第2阿武隈川橋りょう

となったこと、③ 電算技術の発達で PC けたスパンの拡大を容易にしたこと、および使用材料 (12 T 15.2 ケーブル、φ32 鋼棒等) の適用を広げたこと、等が考えられる。東北新幹線の第2阿武隈川橋りょう (104.9+3×105.0+104.9)、上越新幹線の太田川橋りょう (55.4+110.0+55.4) は、河川を斜め横断した結果このようなスパンとなったものであり、上越新幹線の赤谷川橋りょう (55.6+30.0+126.0+30.0+56.3)、吾妻川橋りょう (2×109.52) は大きな溪谷を横断する橋りょうである。

(1) 第2阿武隈川橋りょう (写真-7)

郡山駅付近の第2阿武隈川橋りょうは、上部が連続 5 径間の箱形 PC けたで、地震時水平力は 6800 t にもなり、この水平力を 1 個の橋脚、橋台で負担させることは不可能であったので、オイルダンパーを備えたストッパーを各支点に設置し、地震時の急激な作用力を分散させる方法を採用した。橋脚の大きさは、河川の阻害率から直径 6.5 m と定められたため、1 橋脚に最大 2800 t の地震時水平力を負担させるためには従来の D32 では 5 段配筋となり、コンクリート打込み等、施工が困難となるので、国鉄で初めての試みとして D51 を使用した結果、2 段配筋となった⁷⁾。橋脚コンクリートには中庸熱ポルトランドセメントを使用した。

スパンが長大なため、鉛直反力は 1 シュー当り 4400 t にもなり、そのため、シューとしては 8 個のローラーからなるローラーシューを使用した。各々のローラーは、防錆およびコロウェルド特殊合金の処理がされてい

写真—8 赤谷川橋りょう

る⁸⁾。

この橋りょうは、支点けた高 8.5 m、中間けた高 5.0 m、ウェブ厚さも 70~115 cm と大断面であるため、他のけたに比較して硬化熱による温度応力が大きくなり、温度降下の際、拘束によるひびわれが生ずる可能性が大きい。そこで、打継目近くの旧コンクリートに温床線を配置し、新コンクリート打込み前に旧コンクリートを温めて伸ばし、新コンクリートが最高温度を過ぎて収縮する際に温床線を切断して旧コンクリートを収縮させ、新コンクリートの収縮を拘束しない方法をとった。測定の結果、打継目から 25 cm および 70 cm の位置に温床線を 500 W/m^2 ずつ埋設して 24 時間通電を行うと、旧コンクリートの端部には 300μ のひずみを与えることが可能であることがわかった⁹⁾。

この PC げたは支点で約 $85\,000 \text{ t}\cdot\text{m}$ の曲げ応力が作用するため、鋼材の配置とコンクリート打込みの困難さを解消するため、 $\phi 32$ の PC 鋼棒を使用した。

(2) 赤谷川橋りょう¹⁰⁾ (写真—8)

上越新幹線月夜野駅近くの赤谷川に架かる 5 径間連続げたの赤谷川橋りょうは、① 急峻な V 字谷を渡り、河川底から約 70 m の高さに線路が位置するため、長径間が必要となる、② 赤谷川に沿って県道、国道の計画があり、そのスペースを要する、③ 「黒岩八景」と称する景勝地の中にあり、自然美を損なわない橋りょう型式が望まれる、④ 基盤（凝灰岩）が地表近くに存在する、等の理由からアーチ形式を選定したが、この架設方法は張出し架設の施工技術をアーチ橋に応用したものである。フォルバウーゲンを上部 PC 補剛げた（主げた）に乗せ、アーチリブ、鉛直材を PC 補剛げたから PC 鋼棒を用いて斜めに吊り上げる形式で、アーチの 1 個のフ

レームを全体としてカンチレバー架設するものである。アーチリングは、完成後は圧縮力だけを受ける部材であるが、施工中は構造系が異なるため、なるべく完成後の状態に近づけるため、アーチリングにプレストレスを与える目的で PC 鋼棒を補剛げたからスパンドレル部に斜めに張ることにより施工したもので、「斜吊り PC 鋼棒架設」と称し、この採用は初めてである。斜吊り PC 鋼棒は $\phi 32$ で、その本数と配置を図—5 に示す。張出し架設中は、非対称のカンチレバー施工に伴うアンバランスモーメントが発生するため、これを打ち消す目的で補剛げた位置より後方の P_2 、 P_3 橋脚にバックステイにより力を伝達し、モーメントのバランスをはかった。バックステイに必

要な力は、カンチレバー架設完成直前の地震を想定して約 $4\,800 \text{ t}$ であり、 $\phi 32$ PC 鋼棒を使用した。

3.4.2 中スパン橋りょう

(1) 移動式支保工

中程度のスパンのけた式高架橋には、施工の省力化をねらいとしたグリュストワーゲン方式、ストラバーク方式等の移動式支保工が用いられた。昭和 40 年代の前半にわが国に技術導入され、首都高速道路公団において試験施工を行っていた方式である。この時代は、熟練者の不足、労務賃金の高騰、安全管理、工程の短縮等、社会的な情勢の変化を背景として、機械設備による能率的な施工が要請されていた折であり、国鉄では、東北新幹線第一北上川遊水池に初めて使用し（写真—9）、スパン 31、33 m の PC 箱げたを 93 連施工した。

この工法を採用するには、ある程度連続した施工区間が必要で、計画されたスパンも大きな差がなく、けた高も同一にそろえるのが望ましい。これらの施工法によって、道路上の横断等のけた下の使用条件を特に考慮なくともよく、営業線に近接した箇所でも安全に作業で

図—5 斜吊り PC 鋼棒配置図

(a) ゲリューストワーゲン方式

(b) ストラバーク方式

写真-9 第1北上川橋りょう

き、しかも全天候型で、パターン化された工程、作業工程のサイクル化、限られた作業空間内で少ない作業員で施工が進められる等、品質管理、省力化が行われ、1サイクル2週間程度の実績であった。その後、架設機械も5種類に増え、RC2箱げたにも適用が広がり、スパンは25~30m程度を中心として同一けた高で設計し、25m以下をRCげた、25m以上をPCげたとして適用を区分した。

この工法は、施工上、RC、PCげたの両方を同一型わくで施工しなければならないため、適切なけた高スパン比の選択と設計数量、型わくの回転等を含む工程管理に経済的な検討を加えていく必要がある。

東北新幹線ではRCげた242連約6000m、PCげた185連約5900m、上越新幹線ではPCげた19連約750mの実績である。

(2) 押出し工法

新幹線工事の後半になって、押出し工法によるPCげたの施工例が急増した。以前から鋼げたの架設工法として知られていたが、PCげたの架設に利用されなかったのは、完成後のPCケーブル配置では、施工中に生ずる支点移動に伴う曲げモーメントの変化に対応できず、それを補う鋼材が不経済となることに原因があった。しかし、急速にPCげた架設工法の一隅を占めたのは、鉄道橋、架道橋の工事に利点があるためであった。鉄道橋の例では、これまで、けた架設は交通量の少ない時間帯に線路閉鎖間合(4~5時間)を設定し、その時間内に架設終了しなければならず、架設途中の相吊りの安全性、工事開始から終了までの長期間の仮設状態等、不安な要素があった。しかし、押出し工法では、列車通過時だけ押出し作業を中断すればよ

く、列車ダイヤの変更、列車の運休等をなくすることができ、施工上有利となる。また、作業箇所をヤードに限定できることから、良好な作業環境で作業できるため安全で、繰返し作業のため、作業員の習熟も早く、確実な施工ができる点にあった。表-8にPCげたの実績を示すが、道路、鉄道との交差の例が圧倒的に多い。

押出し工法の対象とするけたは、経済性から箱型断面で3径間以上の連続けたとし、現在、最高14径間(東

表-8 押出し工法によるPCげた実績

線別		東北新幹線	上越新幹線	計
項目				
箇所(スパン数)		16(82)	15(54)	31(136)
延長(m)		2870	2166	5036
けた種別(箇所)	連続	11	10	21
	単純	5	5	10
交差状況(連)	河川	2	5	7
	道路	7	5	12
	鉄道	7	5	12

注 1) けた種別の項の“単純”は押出し架設した箇所を示す。

2) 道路、鉄道の両方を交差するけたは鉄道に入れた。

写真-10 猿ヶ石川橋りょう

図-6 分散方式の兼用シュウ動作図

北新幹線細谷線路橋 $2 \times (24.5 \text{ m} + 5 \times 25.0 \text{ m} + 24.5 \text{ m})$ である。軟弱地盤で地盤変位が大きく、連続げたとすることが不利となる場合は、押し出し終了後、切断して単純げたとした。このように、架設後単純げたとした例は約 30% 程度もある。

この工法の初期には、押し出し時にけたを仮シュウで受け、終了後に仮シュウを本シュウに受け替えていた（猿ヶ石川橋りょう、写真-10¹¹⁾が、シュウ位置の変更を伴うこと等、設計・施工上も繁雑となるため、シュウの盛替え作業の省略のため、押し出し装置と本シュウを兼ねた兼用シュウを開発した（東北新幹線中津架道橋¹²⁾。これにより、省力化がなされ、施工の安全性が向上した。図-6 に分散方式の兼用シュウ動作図を示す。

3.4.3 急速施工された橋りょう¹³⁾

大宮付近、伊奈地区の延長約 1.5 km の区間は、開業を 57 年 6 月に決定後、56 年 8 月ごろ、ようやく工事を全面着工することができた。構造はけた式高架とし、橋脚は一部 SRC 構造を含む RC 橋脚、けたは PC ブロック I げたである。この付近は、東北・上越両新幹線が分岐しながら、まだ両線は同一橋脚上にあり、しかも施工基面高さがそれぞれ異なり、軌道も 1~3 線、スパンは 20~30 m、主げた数 5~12 本と複雑な構造であった。PC ブロックは、全数 143 連、1088 本であった。

この PC I げたは、橋体としての場所打ちコンクリート部分を省略するため、けたの両側張出しスラブの代りに主げたを増やし、上フランジを拡幅して主げた間の 25~30 mm の目地幅に超速硬性モルタルを注入した結果、けたの接合工程を大幅に短縮し、2 日程度にすることができた。

写真-11 に、橋脚工事と PC げた架設工事の競合状況を示す。

写真-11 急速施工状況

写真-12 第 2 孫屋敷架道橋

3.4.4 特殊橋りょう—第 2 孫屋敷架道橋¹⁴⁾ (写真-12)

この橋りょうは北上駅付近にあり、施工基面高さは北上駅の取付けから決定され、都市計画道路までの高さが 8.5 m、道路のけた下空頭 4.7 m を差し引くと、けたの高さは 3.8 m 以内に制限された。また、計画道路は新

図—7 第 2 孫屋敷架道橋全体図

図—8 分割施工順序

幹線と鋭角で交差し、橋脚を設ける場合は道路外あるいは中央分離帯に制限された。この条件から、図—7 に示すように、橋りょうの長さは 110 m 程度となり、線路直角方向には主げたと同一平面で一体とした受けたを橋

脚で支持している。なお、都市計画道路は未施工であったので、足場式支保工による施工が可能であった。この種の橋りょうは国鉄では未経験であったので、基本的には弾性支承上の連続げたとして解析し、橋げたの両ウエ

ブを主げたとする2主げた格子構造、箱げたを1体とした単純格子構造の3種のモデルを解析対象ごとに使い分けた。施工は、主げたと横げたを1体として線路方向に1スパンごとに区切り、コンクリート打込みを行った(図-8)。各施工段階での緊張は、線路方向には全鋼材を行っても問題なく、実測値でも確かめられた。線路直角方向には、横げたは自重による変位量に等しい緊張力を第1段階として与えた。横げたの緊張は支保工で支持された状態で行ったので、主げたと横げたの交差部では、実測値と計算値では異なった結果となった。

4. あとがき

東北・上越新幹線の大きなプロジェクトの完成を機に振り返ると、過去の技術の延長と発展、新技術の導入、応用と開発等、設計・施工技術の発展に大きく貢献したと思われる。

工事途中に発生した宮城県沖地震によって、けた支承部のダンパーストッパーにはほとんど被害が見られず、設計方法の妥当性を確認できたが、中小スパンのシェー、橋脚の鉄筋の途中定着部、ラーメン高架橋の中層ばり等は、かなりの被害を受け、設計の見直しの機会となったことは貴重な経験であった。

新幹線の建設当初から10年余を経た今日の経済事情、社会情勢は大きく変化しており、積雪寒冷地という特殊な条件、施工基面高さの増加、環境保全等の条件のほかに、設計・施工法の合理化・省力化に意を注いだにもかかわらず、現在の諸情勢から判断すると全体の建設費が

合理性をもたないと見られがちである。この反省の上に立って、今後の計画、設計、施工技術の経済性になった目標を目指す必要があると思われる。

参 考 文 献

- 1) 池上・甲斐：東北新幹線の軌道構造，鉄道線路，Vol. 30，No. 7
- 2) 進藤：東北新幹線の雪対策（設備と試験），鉄道線路，Vol. 30，No. 7
- 3) 高薄：上越新幹線の雪対策（設備と試験），鉄道線路，Vol. 30，No. 7
- 4) 金子・南谷：上越新幹線戸座川橋りょうの設計施工について，日本鉄道建設公団，昭55.3
- 5) 海野：連続地中壁を用いた剛体基礎，土木学会誌，1980.4
- 6) 西村：軟弱地盤上の11径間連続橋りょうの動的解析，構造物設計資料，No. 61
- 7) 宮崎・鳥居：太径異形鉄筋を採用した橋脚，コンクリートジャーナル，Vol. 12，No. 5
- 8) 西田・鳥居・加藤・小林：第2第3阿武隈川橋梁の設計施工について（1），（2），プレストレストコンクリート，Vol. 17，No. 5，6
- 9) 西田：場所打ち張出式PC鉄道橋の打継目付近に生ずるひびわれに関する研究，鉄道技術研究所報告，1979.3
- 10) 石川・高山：赤谷川橋りょうの施工—鉄筋コンクリート逆ランガー形式—，コンクリート工学，Vol. 18，No. 8
- 11) 長崎：東北新幹線猿ヶ石川橋りょう建設工事，コンクリート工学，Vol. 15，No. 1
- 12) 本岡・小林・石川：分散式押し出し工法による中津橋りょうの設計施工，コンクリート工学，Vol. 17，No. 8
- 13) 橋田・西山：急速施工PCI型桁の設計施工，構造物設計資料，No. 70
- 14) 橋田・小須田・寺本：東北新幹線第2孫屋敷架道橋の設計施工，プレストレストコンクリート，Vol. 23，No. 4

《図書案内》

コンクリート構造物の破壊事故は教える

1. まえがき／1.1 破壊の定義／1.2 破壊例の調査／1.3 職業上の責任
2. 歴史的な参考文献／2.1 建設における初期の問題／2.2 最近の出版物
3. 破壊原因となる欠陥設計
4. 破壊につながる施工上の問題
5. 施工上の問題：型わくの破壊
6. コンクリートの耐久性およびその他の材料との適合性
7. 基礎の問題：特殊な形式の構造物
8. 破壊防止における専門的・法律的責任

A 5 判 215 頁 定価 2000 円（会員 1700 円）送料 300 円

●申込先：（社）日本コンクリート工学協会

〒102 千代田区麹町 5-7 TBR ビル 708 号
電話 東京 (03) 263-1571