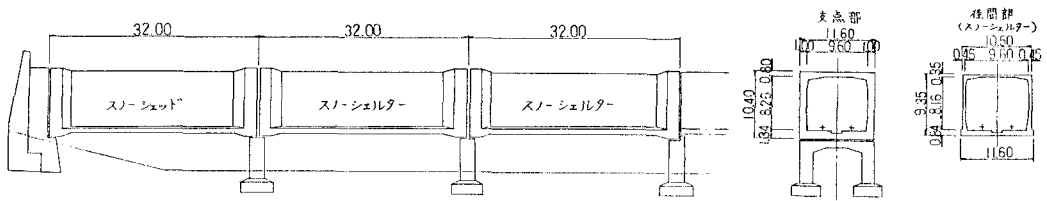


V—11 断面内を走行する鉄道単純PC箱型桁の設計・施工について

日本鉄道建設公団札幌支社 工事第一課長 正会員 高薄和雄
 知内鉄道建設所長 正会員 山目克己
 知内鉄道建設所 安藤哲也

1. まえがき

北海道のような積雪地域において鉄道輸送を安全で確実に行うためには、雪害を克服することが重要な課題である。特に山間部のトンネルとトンネルの間にはさまれた短い明り区間は、除雪の困難さとともに雪崩の危険にさらされ、大きな問題となる場所である。このため当公団では従来より雪覆い機能を兼ねた橋りょうを計画し、現在建設中の津軽海峡線の青函トンネルと第一湯の里トンネルの間に位置するコモナイ川橋りょう(図-1、単純PC箱型桁、 $\ell = 32^m \times 3$ 連)で建設するに至った。本論文はこのコモナイ川橋りょうの設計・施工についての報告である。



(図-1) コモナイ川橋りょう全体図

2. 設計

本橋の構造上の特徴は次のとおりである。

- 雪覆い機能を兼ねた構造で、列車はその内部を走行すること。
- 雪覆いを一体化し、全断面を有効な桁として設計することにより経済性を図ること。

これらの条件を満足するためには、桁高が著しく大きな箱型桁となり、通常の設計法では補えない応力が発生することが予想された。このため設計に先立ち模型実験を行い、設計方針を確立することとした。

(1) 模型実験の概要

模型は縮尺 $1/20$ のモルタル製で、スパン 2.5^m (50^m)、 1.5^m (30^m)、 1.0^m (20^m) である。実験の目的は実用解析法を求めることであり、今回は立体FEM解析及び梁理論を適用した場合の問題点を明らかにすることである。

(2) 模型実験の結果および設計への反映

ア. 横断方向について

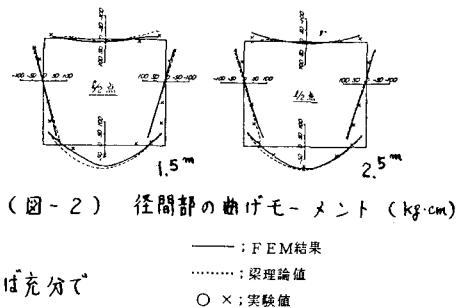
○ 径間部

FEM解析結果及びボックスラーメン解析結果

は実験値と良く一致している。総体的にはボックスラーメン解析結果がやや大きな結果となること

から、単純支持のボックスラーメンとして設計を行えば充分である。(図-2)

○ 支承部



(図-2) 径間部の曲げモーメント (kg-cm)

— : FEM結果
 : 梁理論値
 ○ × : 実験値

FEM解析結果と実験値は双方共良く一致する。
ボックスラーメン解析結果は1.5m模型では一致するが、2.5m模型ではかなり異なる。(図-3)

設計方法としてはFEM解析を行えば充分であるが、ボックスラーメンとして設計する場合(図-4)に示す適用範囲内で、(図-5)に示す範囲の荷重を載荷することにより近似的に求めることができる。

・断面変化部分

FEM解析結果と実験値は良く一致するが、ボックスラーメン解析結果はかなり大きめの値となる。結果的には径間部分のボックスラーメン解析結果を用いれば安全である。

イ、橋軸方向について

・上・下スラブ、側壁の平均応力度

FEM解析結果、梁理論値とも側壁及び下スラブについては実験値と良く一致している。上スラブについては、梁理論値は実験値、FEM解析結果より大きく計算される。したがって梁理論による場合は上スラブに有効幅の概念を導入する必要がある。(図-6)

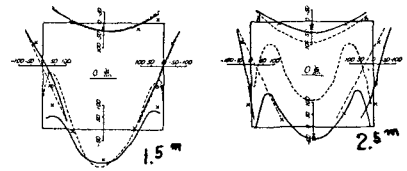
側壁の応力分布は、スパンの大きくなる程又支点から離れる程平面保持則に従うようになる。したがって平面保持則の成立しない短支間構造及び支点近傍の側壁応力はシャイベ理論等により解析すべきである。

以上を考慮して設計方法を

定めると、スパン30m以下ではシャイベ理論、その他は梁理論として設計すれば良い。また有効幅は、上フランジについては「国鉄建造物設計標準」の規程により、下フランジは全幅有効として良い。

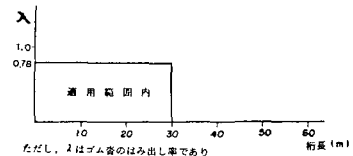
・上・下スラブ、側壁の内外両面応力度

(図-7)に板の内外両面の応力度を示すが、梁理論においては析としての応力度のみしか計算できないが、FEM解析では析としての応力度に板としての面外曲げモーメントを加えた応力度となる。実験結果とFEM解析値は比較的良く一致しており、FEM解析結果は妥当と判断される。一方梁理論では面外曲げモーメントを考慮できないため、内外面応力度を求めることができない。しかしFEM結果で求めた面外曲げモーメントと横断方向ボックスラーメンの曲げモーメントがほぼ同様な分布傾向を示すため、梁理論による場合は次の方法で面外曲げモ



(図-3) 支承部の曲げモーメント (kg・cm)

— : FEM結果
..... : 梁理論値
× ○ : 実験値

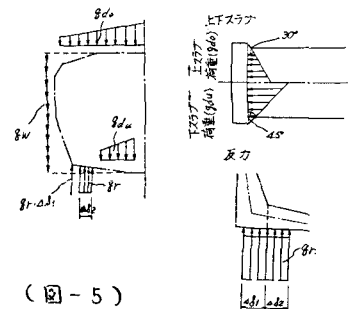


$$\lambda = \frac{b - b_0 + a}{b_0}$$

b : 面角方向のゴム嵩の幅
b₀ : 側壁の厚さ
a : かぶり

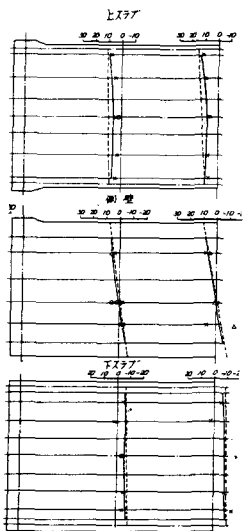


(図-4) ボックスラーメン解析の適用範囲



(図-5)

ボックスラーメン解析を行う場合の
載荷ノ重



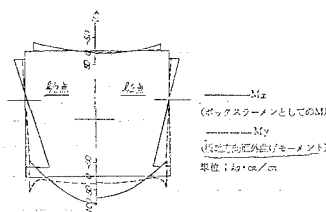
(図-6) 橋軸方向平均応力度 (kg/cm²)

— : FEM結果
..... : 梁理論
× ○ : スパン中央及び側面保持則に於ける応力値の実験値

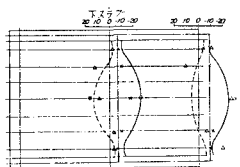
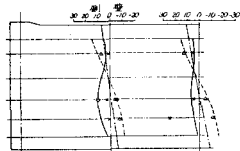
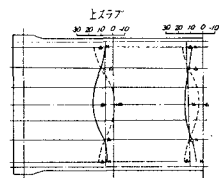
ーメントを近似的に求めることが可能である。(図-8)

a. 側壁の面外曲げモーメントはボックスラーメンの曲げモーメントにコンクリートのポアソン比を乗じた値として良い。

b. 上・下スラブの面外曲げモーメントは、長辺固定、短辺単純支持の長方形板として、それぞれ2方向のモーメントの比を、ボックスラーメンの曲げモーメントに乗じた値として良い。



(図-8) ボックスラーメンのMと
橋軸方向面外Mの分布



(図-7) 橋軸方向応力度

(3) 設計

ア. 設計条件

- ・ 橋種 ————— プレストレスコンクリート鉄道橋
- ・ 構造形式 ————— 箱型単純桁 (新幹線模範断面)
- ・ 平面形状 ————— 直線、直角
- ・ 活荷重 ————— $KS-16, N18 \cdot P19$
- ・ スパン(橋長) ————— 30.85^m (31.95^m)
- ・ プレストレスの方法、工法 — ポストテンション方式、フレジネー工法
- ・ コンクリートの許容応力度 表-1
- ・ PC鋼材の許容応力度 表-2
- ・ 雪荷重 表-3
- ・ 雪崩荷重 図-9, 表-4

—————: Fによる面材外縁の値
 - - - - -: 面材内縁の値
 ————: 鋼材の値
 × ○: 鋼材外縁の実験値
 △ ●: 鋼材内縁の

(表-1) コンクリートの許容応力度 (kg/cm^2)

強度 許容 応 力 度	設計基準強度 (σ_{ck})	350
	プレストレス導入時	272
	プレストレス導入直後(圧縮)	160
	————— (引張)	13.5
	設計荷重作用時(圧縮)	125
	————— (引張)	9
	————— (斜引張)	12 (15.5)

()はねじりを考慮した場合

PCより線 SWPR-7B 12T/2.7	引張強度	190
	降伏点応力度	160
	プレストレッシング中許応力度	144
	プレストレス導入直後 ———	133
	設計荷重作用時 ———	114
	レラクセーション	5%
PC鋼棒 SBPR 95/10 φ26, φ32	引張強度	110
	降伏点応力度	95
	プレストレッシング中許応力度	85.5
	プレストレス導入直後 ———	77
	設計荷重作用時 ———	66
	レラクセーション	3%

期待值年	積雪深 (cm)	单位重量 (kg/cm ²)	荷重 (kg/m ²)
2	110	2.240	246
10	200	3.033	607
30	250	3.267	817
70	280	3.407	954

・設計計算の基本方針

設計計算は基本的に梁理論により行うこととし、樑軸方向は単純P-C箱桁、横断方向は単純支持のボックスラーメンとして扱うこととした。また前述のとおり模型実験の結果と立体FEM解析の結果が良く合致することから立体FEM解析を行い、梁理論値のチェックを行っている。

・梁理論値とFEM解析結果の比較

梁理論値とFEM結果を比較すると、支承位置の下床版において乾燥収縮がストッパーに拘束されることにより許容値以上の引張力が発生することがFEM解析により得られたが、その他の大部分において梁理論値が安全側の値となり、今回の設計法はほぼ妥当であると判断される。

P_{RX}	I_{RX}	I_{RY}	P_{SY}	I_{SX}	I_{SZ}
1.482	0.196	0.179	0	0	0

3. 施工

(4) 支保工

支保工は、桁下空頭が5〜8mと比較的低く、また岩盤層が残っていること等を考慮して支柱式支保工を採用した。また断面内の支保工は鳥居式支保工を使用している。

(2) コンクリート工

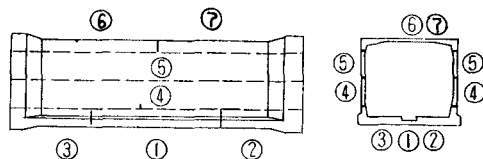
コンクリートの配合は表-5に示すとおりで、使用セメントは普通ポルトランドセメントである。なお上スラブのみ工程上の制約により早強セメントを使用している。

セメントの種類	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	W/C	細骨材率
普通ポルトランド	440	154	758	1077	0.88	35	42.9
早強	395	154	794	1077	0.79	39	44.1

コンクリートの打設方法はポンプ車打設で、打設区分は現地の搬入路の状況により、日の打設量が150^m程度に制限されたため、分割打設とした。

(図-10)

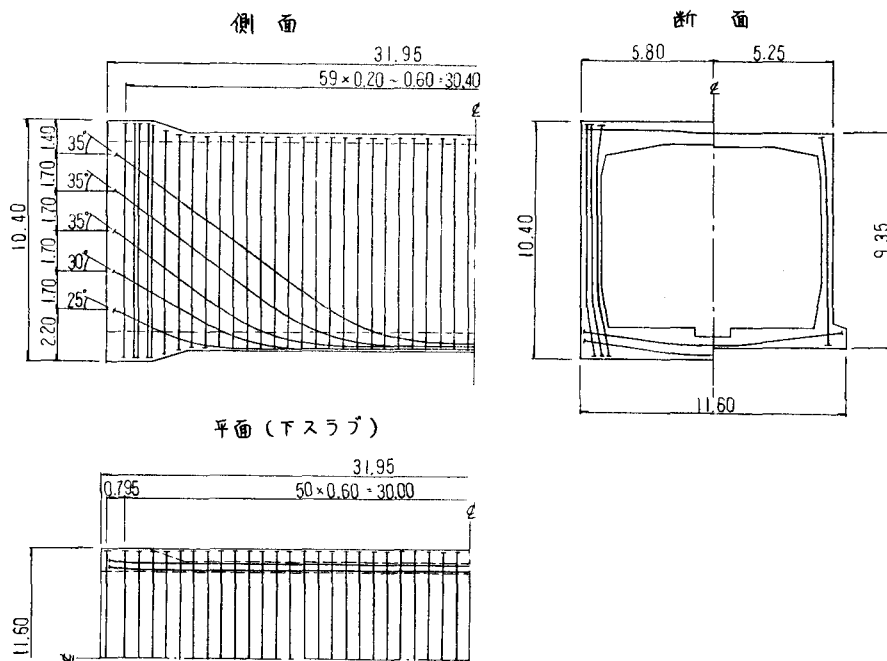
養生は打設時期が10月～12月であったため、必要に応じて熱風養生を行った。



(図-10) コンクリートの打設区分

(3) プレストレス

本橋のPC鋼材の配置を(図-11)に示す。緊張方法は、主ケーブルは両引き、横締ケーブル及び縦締鋼棒は片引きである。緊張順序は最初に横断方向の緊張を行い、その後主方向の緊張を行った。また横断方向のPC鋼材は合計215本と数が多く、スラブ・側壁の両面に配置されているため、プレストレスが均一に導入されるよう1/2ずつ緊張を行った。(表-7)に緊張順序を示す。



(図-11) PC鋼材配置図

(表-6) 主要材料表 (1連当り)

材 料	スノーシェッド	スノーシェルター
コンクリート $\phi_k=350$	864 ^m	827 ^m
主ケーブル 12T/2.7	10 [*] 3,262 ^{kg}	10 [*] 3,262 ^{kg}
上スラブ横締 12V/2.7	4 [*] 450 ^{kg}	4 [*] 450 ^{kg}
下スラブ横締 12V/2.7	59 [*] 6,669 ^{kg}	59 [*] 6,669 ^{kg}
鉛直締 $\phi 26$	92 [*] 3,599 ^{kg}	92 [*] 3,581 ^{kg}
鉛直締 $\phi 32$	60 [*] 3,912 ^{kg}	60 [*] 3,912 ^{kg}
鉄 筋 SD35	70,300 ^{kg}	72,400 ^{kg}

(4) 施工上の問題点

- ・ コンクリートの分割打設を行った場合、打継目付近は新旧コンクリートの温度差、乾燥収縮によるひずみ差によるひびわれの発生が予想される所である。
- ・ その対策として今回は、新コンクリートの打継目付近に用心鉄筋を配置している。
- ・ ノ連当りの施工期間が長く(4ヶ月以上)、また大断面であるため、施工中のPC鋼材やシース等の保護、寒冷期のコンクリートやグラウトの養生が困難である。

(表-7) 緊張順序

順序	緊張位置
1	横締め $\frac{1}{2}$ を片側より緊張
2	縦締め $\frac{1}{2}$ を両側壁で緊張
3	横締め $\frac{1}{2}$ を反対側より緊張
4	縦締め $\frac{1}{2}$ を両側壁で緊張
5	主ケーブルを両側壁で緊張

4. あとがき

本橋は雪覆いを兼ねた橋りょうとして計画されたものであるが、構造的にはスパンの長大化、振音振動対策や併用橋等にも応用できるものと考えられ、今後本型式の橋りょうがPC橋の新しい分野となることを期待するものである。

なお施工については、現在最初の一連(第3径間)の施工途中であり、また過去の施工例も少いため十分な資料が得られなかったが、今後の施工データの集積により技術的により完全なものに近づけていきたい。