橋りょう基礎工事における マスコンクリートの寒中施工 ——新十勝大橋のニューマチックピアケーソン——

小渡敏彦^{*1}・石川博之^{*2}・丹野次男^{*3}・間処勝彦^{*4}

概要 新十勝大橋は、一級河川十勝川をまたぐ橋長 755 m の長大橋であり、主径間に長大支間の変断面 PC 箱げたを計画したことから、橋脚については、大きな支持力の得られるニューマチックピアケーソン工法を選定した。このため、橋脚は大型化し、フーチング部のコンクリートの打設量が 4 556 m³ となることから、マスコンクリートとしての対策が必要となった。一方、施工期間が最低気温約 -30℃ という厳冬期に該当することから、寒中コンクリートとしての対策も必要となった。本報告では、施工時に実施したひびわれ対策の概要、および、実測した内部温度、ひびわれ等に関する検討結果について述べる。

キーワード：マスコンクリート、寒中コンクリート、温度応力解析、発泡ウレタン、ニューマチックピアケーソン

1. はじめに

一般国道 241 号、帯広北バイパスは、帯広市周辺の交通混雑を解消するために、北海道開発局帯広開発建設部が計画したものであり（図-1）、新十勝大橋は、そのメイン事業である（図-2）。

本橋は一級河川十勝川をまたぐ橋長 755 m の長大コンクリート橋であるが、上部工については最大支間 170 m の 3 径間連続変断面 PC 箱げた橋であり、この型式の上部工としては国内最大の規模となる。

下部工については、上部工荷重が大きくなることから、中央径間の P-2、P-3 橋脚に大規模なニューマチックピアケーソン工法（ニューマチックケーソン工法による直接基礎）を採用した。なお、P-3 橋脚は底面積が約 870 m² で、ピアケーソン型式の橋脚としては国内有数の規模となる。

橋脚の大型化にともない、躯体の構造もかなりマッシュとなるため、マスコンクリートとしての対策が必要となった。また、P-3 橋脚の工事は渇水期である昭和 61 年 11 月から翌年 3 月までの間に完了させることとな

したが、この期間が厳寒期でもあり、とくにこの地方は冬期間の月平均気温が -4~-8℃、日最低気温が約 -30℃ にも達することから、寒中コンクリートとしての対策も

図-1 帯広北バイパス位置図

*1 こわたり・としひこ／北海道開発局帯広開発建設部帯広道路事務所長

*2 いしかわ・ひろゆき／同上道路課係長

*3 たんの・つぎお／同上帯広道路事務所工事課主任

*4 まどころ・かつひこ／佐藤工業㈱札幌支店土木部土木工事課長

図-2 新十勝大橋一般図

必要となった。

マスコンクリートの対策を検討するため、二次元の有限要素法 (FEM) 解析を行い、その結果等もふまえて、セメント種別および単位セメント量、打設回数および間隔、コンクリートの打設温度等を決定するとともに、コンクリートを打設する前に地盤を暖めるなどの処置も講じた。寒中コンクリートの対策としては、もっとも一般的に用いられている防寒養生を行い、その後、発泡ウレタンをコンクリート表面に吹き付けて、表面温度の低下を防止した。

また、躯体内部にひずみ計、温度計等を取り付けて計測を行い、FEM 解析結果との比較検討を行ってみた。

本報告では、下部工の施工概要、マスコンクリートおよび寒中コンクリートの対策、計測データに対する検討結果等について述べる。

2. 工事概要

工事名：一般国道 241 号帯広市
新十勝大橋下部その 4 工事

表-1 橋脚諸元

	P-2	P-3
ヤード盛土 (m ³)	6 330	7 830
土砂セメント (m ³)	1 160	1 510
躯体コンクリート (m ³)	5 716	6 843
中埋めコンクリート (m ³)	1 250	1 627
鉄筋 SD 30 (t)	464	490
鉄筋 SD 35, D 51 (t)	—	407
沈下掘削土量 (m ³)	1 万 900	1 万 2 600
沈下掘削深さ (m)	14.4	14.4

施工：佐藤工業㈱・栗林建設㈱・井出建設工業㈱
・大道建設㈱共同企業体

工期：昭和 61 年 9 月 27 日～63 年 3 月 25 日

工事内容：ニューマチックケーソン 2 基 (直接基礎)

P-2 橋脚 (可動) および P-3 橋脚 (固定)

3. ニューマチックケーソンの施工

3.1 選定理由

中央径間の P-2, P-3 橋脚にニューマチックピアケーソン工法を選定した理由は以下のとおりである。

Construction of Mass Concrete and Winter Concreting on Foundation of Bridge —Spread Foundation with Pneumatic Caisson Method in New Tokachi Bridge—

By T. Kowatari, H. Ishikawa, T. Tanno, K. Madokoro

Concrete Journal, Vol. 26, No. 12, pp. 22~29, Dec. 1988

Synopsis New Tokachi Bridge is a large 755 m long bridge over the Tokachi River. Because it is built with continuous PC box beams with different cross section in the main spans which are the maximum 170 m, the substructures use the spread foundations with pneumatic-caisson method to support the load of the superstructure. The footing of the fixed pier requires a huge amount of concrete (4556 m³), making it necessary to deal with the problems of the mass concrete. Additionally the pier was constructed in the coldest period of the year with daily minimum temperatures of about -30°C, and required measures for winter concreting. This report present on outline of the cracking control for the pier construction, and the considerations for measured temperatures, cracks and so on.

Keywords : mass concrete, winter concreting, thermal stress analysis, urethane foam, spread foundation with pneumatic-caisson method

図-3 (a) ケーソンの施工フロー

- 下部工に作用する荷重が非常に大きいため、くい基礎による設計は不利である。
- 深さ約 14 m 以深に大きな支持力の期待できる密実な火山灰層が存在するため、直接基礎が設計上有利である。しかし、在来の開削工法では切深が深いため、湧水による基礎底面の乱れが懸念される。
- ニューマチックケーソンによる直接基礎とした場合、湧水による心配もなく、底面地盤の支持力の確認も容易である。また、開削工法と比較して工期も短く経済的である。

3.2 施工概要

P-3 橋脚ケーソン基礎の施工フローは、図-3 に示すとおりである。ここでは、本ケーソン施工上、特筆すべき事項について述べる。

(1) 躯体の構築および掘削の準備

フーチングコンクリートを打設する前に、セントルを設置することとなる。セントルには土砂、木製、鋼製等があるが、今回は、セントルに作用する荷重が 1 万 2 000 t と大きなこと、設置撤去が容易なこと、経済性に優れていることなどにより、土砂セントルを用いることとした。

図-3 (b) 底版構築に関する詳細フロー

その後、フーチングを構築することとなるが、これについては次章で述べる。

フーチング完成後は、土砂セントルを撤去して函内の作業スペースを設けるとともに、函内掘削機の配置、養生設備の設置等、沈設作業に必要な準備を行った。なお今回は底面積が比較的大きなことから、函内掘削機として 0.1 m³ 級電動式バックホウを 8 台、また、マテリアルシャフト（土砂搬出用）8 基、マンロック 2 基を配置した。

(2) ケーソンの沈設

写真-1 P-3 ケーソンの沈設状況 (1)

写真-2 P-3 ケーソンの沈設状況 (2)

P-3 ケーソンの沈設状況を写真-1, 2 に示す。直接基礎型式であること、大規模な構造をもつことなどから躯体の傾きの管理が非常にむずかしく、とくに、大きな傾斜を生じた場合は、その修正が非常に困難となる。このため、底面の掘削領域を設定し、工業用テレビにより函内の状況を常時把握しながら掘削管理を行うとともにケーソンの傾斜を常時観測しながら修正を行った。

また、本ケーソンの場合、従来のケーソンのように揚圧力と周面摩擦力とで沈下力に対抗することができないため、刃口部の土砂を一部残すことによって沈下力との釣合いをはかることが必要となった。今回は、テルツァギの地盤支持理論を用いて刃口部の先端支持力¹⁾を評価することにより、刃口部の掘削領域を設定した。また、沈下実績をリアルタイムで沈設管理に反映させる必要があることから、パソコンにより沈下計算結果と沈下実績との対比を行い、その都度、刃口部土砂の適正な残し幅を計算しながら掘削を行った。

このように、パソコンを用いたリアルタイムの施工管理を行ったことにより、所定の精度を十分に満足することができた。

4. フーチングコンクリートのひびわれ対策

4.1 温度応力解析

P-3 橋脚のフーチングは、図-4 に示すとおり、底面積 27.0×32.0 m、高さ 6.0 m、コンクリート体積 4556 m³ と非常に大規模な構造であることから、マスコンクリートとしての取扱いが必要となる。このため、日本コンクリート工学協会「マスコンクリートのひびわれ制御指針」²⁾ にもとづいて温度応力解析を行い、ひびわれの

図-4 P-3 橋脚構造図

図-5 コンクリートの打設計画

表-2 解析に用いた諸定数

外気温 (°C)		マイナス 26.7
打設温度 (°C)		15
地盤温度 (°C)		土砂セメントル 15 (地中 5)
打設高さ (m)		2.00
打設間隔 (日)		10, 14
表面熱伝達率 (kcal/m²・h・°C)		2.5 ^{*1}
単位セメント量 (kg/m³)		280
コンクリート	比熱 (kcal/kg・°C)	0.22
	熱伝導率 (kcal/m・h・°C)	2.0
	密度 (kg/cm³)	2.3×10 ⁻³
	ポアソン比	0.167
	弾性係数	・2
	熱膨張率 (1/°C)	1.0×10 ⁻⁵
地盤	比熱 (kcal/kg・°C)	0.30
	熱伝導率 (kcal/m・h・°C)	1.5
	密度 (kg/cm³)	1.9×10 ⁻³
	ポアソン比	0.320
	弾性係数 (kgf/cm²)	470
	熱膨張率 (1/°C)	1.0×10 ⁻⁵

- (注) *1 発泡ウレタンを用いた場合の値であり、文献 2) により決定。
 *2 弾性係数 $E_c(t) = 1.53 \times 10^4 \times \sqrt{f_c'(t_e)}$ 。文献 2) により決定。
 *3 断熱温度上昇 $T_{ad} = K \cdot (1 - e^{-at})$ 。文献 2) により決定。

発生に関する検討を行った³⁾。

マスコンクリート解析にあたり、躯体内部の温度分布を把握する必要があることから、今回は FEM による解析を行った。工程上の制約により、コンクリートの打設

表—3 事前に行った解析と主な結果

解 析 の 目 的	各 モ デ ル の 概 要	結 果
0°Cの防寒養生の必要な期間を推定する。	① 0°Cを4週間保持する。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ② 0°Cを5週間保持する。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ③ 0°Cを6週間保持する。他の条件は4.1節のモデルと同じ。	マスコン対策上、5週間0°Cを保持する必要がある。
打設回数を2回あるいは3回にするかを決定する。	① 打設回数を2回、3mとする。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ② 打設回数を3回、2mとする。これは、4.1節のモデルとまったく同じ。	2回打ちとしたほうが、底面および打継目の温度応力が大きくなった。
コンクリートの打設温度と温度応力の関係を明らかにする。	① 打設温度を7°Cとした。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ② 打設温度を10°Cとした。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ③ 打設温度を15°Cとした。これは、4.1節のモデルとまったく同じ。	どのモデルを用いても、温度応力に大差はなかった。
土砂セントルの温度と温度応力の関係を明らかにする。	① 土砂セントルの温度を0°Cとした。他の条件は4.1節のモデルと同じ。 ② 土砂セントルの温度を15°Cとした。これは4.1節のモデルとまったく同じ。	0°Cとしたほうが、底面の温度応力は大きくなった。
セメントの種類を決定する。 $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$	① 普通ポルトランドを使用、単位セメント量 280 kg/m^3 ② 高炉B種を使用、単位セメント量 292 kg/m^3 ③ フライアッシュを使用、単位セメント量 292 kg/m^3	単位セメント量の関係で普通ポルトランドが有利

を 図—5 に示すとおり 2m×3 層打ちとしたことから、これにもとづいて解析モデルを 図—6 のとおり設定し、二次元モデルとして解析を行った。なお、解析に用いた諸定数は表—2 に示すとおりである。

温度応力については、上記の温度分布の計算結果を用いて計算することとなる。手法としては、上記と同様、FEM を用いており、その他、解析モデル、諸定数等のデータについても温度分布解析と同一とした。なお、材令とコンクリートの弾性係数との関係については、前述の「ひびわれ制御指針」により定めた。

以上が、マスコンクリートおよび寒中コンクリートの対策方法を検討するために実施した温度応力解析の最終モデルであるが、これに至るまでの過程において、何ケースかのモデルについても検討を行っている。これらについて示したものが表—3 であるが、おのおののモデルを設定した理由や、それらが最終的に採用されなかった理由等については4.2以降で述べる。

4.2 ひびわれ対策

フーチングの構築および養生期間が月平均気温 $-4 \sim -8^\circ\text{C}$ 、日最低気温約 -30°C という厳冬期にあたることから、次のような寒中コンクリートの対策を行った。

1) 土木学会「コンクリート標準示方書」施工編⁴⁾によると、初期材令時における強度発現の遅延程度が小さなことから、寒中施工時においてはポルトランドセメントの使用を標準としているが、高炉B種、フライアッシュ、普通ポルトランドを比較してみたところ、 $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$ に対し、配合設計の結果、高炉B種およびフライアッシュは普通ポルトランドに対し単位セメント量が多くなり、引張応力が大きくなった。このため、今回の施工においては

図—6 FEM 解析モデル

普通ポルトランドセメントを用いることとした。

- 2) 外気温が低いことから、防寒囲いを設置し、ジェットヒーターによる給熱養生を行った。今回の施工においては、養生温度を 10°C 、養生日数を3日間とした。なお、コンクリート表面は、養生マットにて温水による散水養生を行った。
- 3) 防寒養生終了直後にコンクリート表面が外気温にさらされると、表面と内部との温度差が大きくなり、ひびわれの発生につながる。一般的には、防寒囲いを存置して2日程度 0°C に保つなどの処置を講ずるが、今回の場合、構造物がかなりマッシブなうえ、外気温も非常に低いことから、 0°C に保つ期間をもう少し長くする必要があるものと考えられた。囲い内温度 0°C の保持期間をそれぞれ4, 5, 6週間として温度応力解析を行ったところ、5週間 0°C を確保しておけば、その後構造物が外気にさらされても、問題となるような温度応力は生じないという結果が得られた。しかし、このような大規模な構造物に対して5週間もの給熱養生を行った場合、その施工費はかなり割高なものとなる。一方、フーチングの打設終了後に発泡ウレタンを吹き付けた場合の温度解析モデルが前記4.1であり、これより、外気温が -30°C 程度まで低下しても表面温度が 0°C 以

写真-3 断熱材（発泡ウレタン）吹付け状況

表-4 コンクリートの配合

	底 版 部	柱 部
設計圧縮強度 (kgf/cm ²)	255	300
セメントの種類	普通ボルト	早強ボルト
ス ラ ン プ	8	8
空 気 量 (%)	4.5	4.5
粗骨材の最大寸法 (mm)	40	40
水セメント比	48.2	49.2
生コンの温度 (°C)	15±3	9±3
配 合		
(kg/m ³)		
水	135	138
セ メ ン ト	280	280
細 骨 材	734	721
粗 骨 材	1240	1248
混 和 剤	0.700	0.700

下にならないという結果が得られた。このほか、沈設等の作業の支障にならないという利点もあることから、今回は、厚さ 15 mm 以上で発泡ウレタンを吹き付けることとした。なお、吹付け状況を写真-3に示す。

- 4) 地表面の温度についてもかなり低くなることから、そのままコンクリートを打設した場合、底面の温度応力が大きくなることが予想された。土砂セントルの温度をそれぞれ 0°C および 15°C として温度応力解析を行ったところ、前者の場合の底面の温度応力が $\sigma_t=34\text{kgf/cm}^2$ とかなり大きくなるのに対し、後者（4.1 のモデルと同じ）は $\sigma_t=25\text{kgf/cm}^2$ とあまり大きくならないという結果が得られた。そのため、今回の施工においては、打設前に防寒囲いを設置し、地表面温度を 15°C 程度まで上げるよう、加熱を行った。

一方、マスコンクリートの対策についても、以下のとおり実施した。

- 1) マスコンクリート対策上、単位セメント量を少なくしたほうが有利であるが、今回はポンプ打設の施工性も考慮して、単位セメント量を 280 kg/m³ とした。なお、コンクリートの配合を表-4に示す。
- 2) 温度応力と打設高さとは密接な関係にあることが

写真-4 P-3 橋脚コンクリート打設状況

ら、これについても検討を行った。フーチングの 1 回打ちについては、打設量が 4556 m³ となり、この地方の 1 日当りの生コンクリート供給能力を超えることから不採用とした。一方、本橋脚の施工を一級河川十勝川の渇水期間中に終える必要があるため、工程を検討し、打設回数を 3 回以下に設定した。ここで、打設回数をそれぞれ 2 回（各 3 m）および 3 回（4.1 と同じ）として温度応力解析を行ったところ、前者のほうが底面および打継目において約 5 kgf/cm² ほど大きな温度応力を示すという結果が得られたことから、今回は 3 回打ちを採用することとした。これにより、1 層当りの打設量は最大で約 1900 m³/日 となった。打設間隔については、第 1～2 層の間を 10 日、第 2～3 層の間を 14 日とした。なお、打設状況を写真-4に示す。

- 3) コンクリートの打設温度と温度応力との関係を明らかにするため、打設温度をそれぞれ 7, 10, 15°C として解析を行ってみた。しかし、結果的には 3 ケースを比較しても大きな差が見られなかったことから、打設温度については、生コンプラントにおける管理が比較的容易な 15°C とした。

5. 温度とひずみの計測および考察

5.1 計測機器の取付け

以上のように温度応力解析を行い、それにもとづいてマスコンクリートの寒中施工に関する対策を実施した。

図-7 計測機器の配置

実際生じた温度および温度応力が解析値とどのような関係にあるのかを検討し、施工管理に役立てるため、図-7 に示すとおり、フーチング内部に温度計、ひずみ計を設置して計測を行った。

打設リフトが3層×2.0 m となっていることから、各層の上・中・下段に計測器を埋設し、一定の測定間隔ごとに、温度、ひずみ等のデータの自動計測を行った。

5.2 温度履歴

各温度計から得られた実測データと解析データとの関係を示すグラフのうち、代表的なものを図-8 に示す。

(1) 第1リフトの温度履歴

図-8 (a) は、第1リフト下段における温度履歴である。実測データが解析値よりも大きくなっているが、これは、打設前に土砂セメントを加熱したことによるコンクリート底面の保温効果が、解析よりも大きく現れたためと判断される。このほか、地盤の熱伝導率についても、解析時に推定した値よりも小さいことが考えられる。

材令2週間ごろからは、逆に、実測値のほうが解析値よりも小さくなる。さらに、材令49日ごろから急に温度が低下しているが、この時期が土砂セメントの掘削開始時期と一致していること、低下後の温度が管内気温とほぼ一致していることなどから、掘削後の放熱の影響により温度が低下したと思われる。なお、材令100日ごろから温度が再び上昇しているが、これは底版の中埋めコンクリート打設後の水和熱の影響によるものと思われる。

図-8 (b) は、第1リフト中段における温度履歴である。材令約2週間までの間は実測値と解析値とがほぼ等しくなっており、その後、徐々に実測の温度のほうが低くなってゆく。

(2) 第2、第3リフトの温度履歴

図-8 (c) は、第2リフト下段における温度履歴である。実測値と解析値とは同一の傾向を示しているものの、実測値は解析値に比べて約10℃低くなっていることから、第2層のコンクリートの水和熱が、解析で予想された以上に下層へ伝達されているものと思われる。

なお、材令49日ごろから急に温度が低下し、100日ごろから温度が再び上昇する傾向にあるが、これについても、第1リフトと同一の理由によるものと判断される。

図-8 (d) は、第3リフト中段における温度履歴であ

図-8 フーチングの温度履歴

り、実測値と解析値とがほぼ一致している。

(3) 温度履歴に関する考察

底面地盤にもっとも近い第1リフト下段の温度履歴の結果から、地盤加熱の効果がかなり現れていること、地盤の熱伝導率が当初推定していたより小さな値であったこと、これらにより底面の保温効果が予想以上に発揮されたことなどが推察される。また、底面温度が高くなることにより、躯体内部の温度勾配が低減されるため、温度応力についても、解析で推定された値より小さくなるものと判断される。

第1、第3リフト中段のデータについては、温度履歴がピークを過ぎてから、実測値が解析値より小さくなってゆく傾向にある。この理由としては、コンクリートの熱伝導率がもう少し大きな値であったこと、断熱温度上昇量の推定式における減衰定数がいずれももう少し大きな値であったことなどが考えられる。一方、温度履歴のピーク値については、実測値と解析値とがほぼ一致している。

第2リフト下段については、ピーク時の実測値が解析値より10℃ほど低くなっている。しかし、第1、第3リフト中段のデータである(b)や(d)では、実測ピーク値が解析とほぼ等しい値を示していることから、ピーク時温度の「実測<解析温度」という状況は、リフトの上端部または下端部において生じていることとなる。したがって、これについては、実際のコンクリートの熱伝導率が解析に用いた値より大きかったという理由が考えられる。

なお、ピークを過ぎてからの第2リフト下段の温度履歴について注目すると、さらに実測値が解析値よりも低

くなってゆくという傾向にある。これについては、前述の第1, 第3リフト中段のデータの示す傾向と同じであることから、その原因についても、これらと同様、コンクリートの熱伝導率や断熱温度上昇の減衰定数等の値が小さすぎたこと等によるのではないかと考えられる。

ここで、モデル全体について共通する点をまとめると次のようになる。

- 1) 地盤の熱伝導率については、もう少し低い値であったのではないか。
- 2) コンクリートの熱伝導率が、もう少し大きな値ではなかったか。
- 3) 断熱温度上昇量の推定式における減衰定数は、もう少し大きな値ではなかったか。
- 4) 実際の工事における施工条件が複雑であったためそれを忠実に解析モデルに反映させることが困難であった。たとえば、外気温については解析では一律に 26.7°C としているが、実際には多少変動もある。土砂セメントルや基礎地盤についても同様のことが考えられるほか、土砂セメントル掘削後の条件についても反映させていなかった。このほか、モデルを二次元として解析していることなどもあげられる。
- 5) 解析のメッシュを細かく分割することや、基礎地盤の領域を幅広く取ることができなかった。

5.3 温度応力

実測の温度分布と実測のひずみが得られていることから、簡易な計算法により温度応力を計算してみた。しかし、実測の温度と解析によって得られた温度との間に多少の差があることもあり、上記の応力の結果は、4.1 で得られた温度応力とかなり異なるものであった。

したがって、今後、もう少し精度の高い温度応力の解析データを得るためには、より正確に温度分布を解析する必要があるものと考えられる。

6. ひびわれの発生状況

フーチング底面はひびわれの発生確率が高いと思われる箇所であり、FEM 解析ではひびわれ指数が約 1.0、ひびわれ発生確率が約 40%⁴⁾と推定されていた。このため、函内作業中、目視によりフーチング底面の調査を行ったが、結果的にひびわれは発見されなかった。この理由としては、フーチング底面が地面に接していたため、結果的に良好な養生の状態を確保できたこと、掘削後も函内の湿度が高い状態にあったことなどが考えられる。

なお、底面以外にも、目視可能な部分については調査を行ったが、ひびわれは発見されなかった。

7. おわりに

新十勝大橋の下部工に大規模なニューマチックピアケーソン基礎を採択したが、北海道内では、この型式の構造物の施工例がないこと、国内屈指の規模であることなどから、とくに、沈設作業あるいはコンクリートの施工については細心の注意を払ってきた。

その結果、2年間にわたる今回の工事を、昭和63年1月末に無事故・無災害で終了することができた。沈設についても、底面の不等沈設量が 16 mm という、非常に高い精度で完了することができた。

コンクリートについても、寒中コンクリートおよびマスコンクリートの対策を行ったことにより、ひびわれを発生させずに施工を完了することができた。とくに発泡ウレタンの吹付けについては、経済性、施工性の面で非常に優れた工法であり、今後の寒冷地におけるコンクリートの防寒養生に対して非常に有効な工法であると考えられる。

なお、本報告が今後の寒冷地のマスコンクリート対策に対して少しでも役に立てば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたりご協力いただいた関係各位に対し、深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書IV 下部構造編，pp. 206～209，昭55.5
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針，昭61.3
- 3) 丹野次男ほか：マスコンクリートのひびわれ制御について—新十勝大橋下部工の例—，第31回北海道開発局技術研究発表会講演概要集，pp. 95～100，昭63.2
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書（施工編），pp. 119～146，昭61.10