

V-16

白鳥大橋主塔基礎におけるコンクリート施工について

北海道開発局建設部

正員 熊谷勝弘

北海道開発局室蘭開発建設部

正員 高橋守人

大林組技術研究所

正員 青木 茂

1. まえがき

白鳥大橋は、室蘭港を南北に跨ぐ中央径間720m、側径間330m、橋長1380mの3径間2ヒンジ補剛箱桁の吊橋である。(図-1)

主塔基礎には、地中連続壁併用逆巻剛体基礎工法を採用しており、内部掘削における最終床付け位置はG.L.-76mと大深度である。そのため、地中連続壁コンクリート(以下連壁コンクリートと略記する)には高強度化が、本体コンクリート底部には高落差のポンプ圧送が余儀なくされた。さらに、本体コンクリートの打継部には、高品質な充填コンクリートとして、逆打ち高流動コンクリートが採用された。

これらのコンクリートの使用実績はあるが、大型工事での適用事例は少なく¹⁾、品質管理結果まで言及した報告はほとんどない。

以下、この工事に適用した高強度連壁コンクリート、高落差圧送コンクリート、逆打ち高流動コンクリートについて、材料配合上の特徴、基礎性状の特性、品質管理結果などについて報告する。

2. 工事概要

2. 1. 主塔基礎の構造と施工

2基ある主塔のうち、第3橋脚(3・P)の基礎構造を図-2に示す。主塔基礎の主要部材は地中連続壁、側壁、底板である。地中連続壁は、壁厚1.5m、内径34m、壁深さ106mの大深度連壁である。本体側壁は、地中連続壁完成後、壁内をドライ状態にして内部土砂を掘削して陸上に搬出し、所定の深度毎に逆打ちで順次構築する。側壁の構造は、壁厚2.0m、内径30m、壁高さ47mであり、1ロット6mの高さで施工される。1ロットのうち上部約1.2mは、打継部コンクリートであ

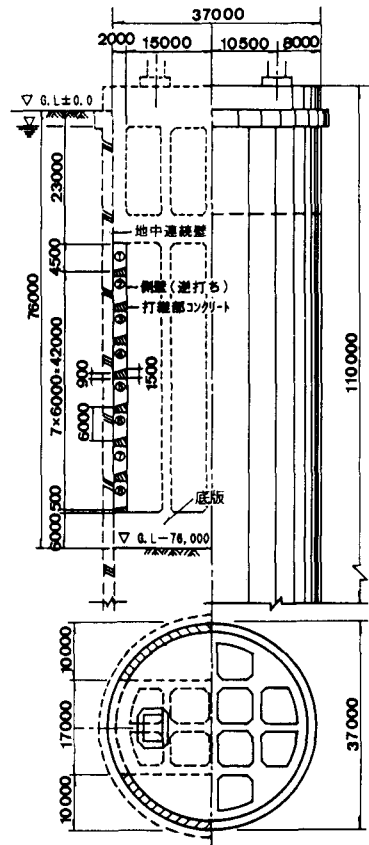


図-2 主塔基礎の構造

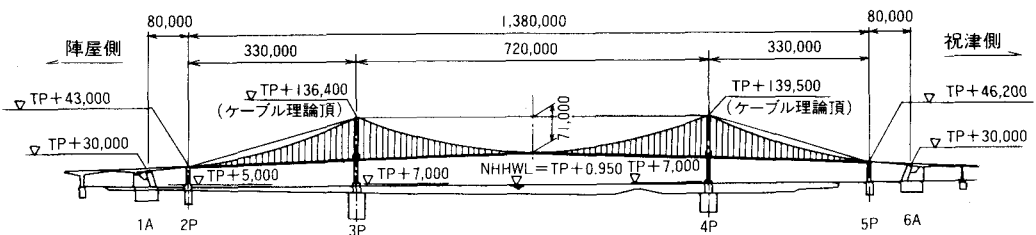


図-1 橋梁断面

Quality and Constructability of Concrete applied on Foundation of HAKUTYO OHASHI Bridge
by Katsuhiko KUMAGAI, Morito TAKAHASHI, Shigeru AOKI

り、下部約4.8mは一般部コンクリート（普通コンクリート）である。打継部コンクリートには高流動コンクリートが適用された。底版は、側壁最終ロット打設後、床付けまで掘削を行って構築されるが、コンクリートの打設は高落差のポンプ圧送となる。底版厚は6mであり、コンクリートは2リフトに分割して打設された²⁾。

2. 2. コンクリートの要求品質

コンクリートの要求品質項目と対応策を表-1に示す。高強度連壁コンクリート、高落差コンクリートとも低発熱性が要求されるのは、適用部材がマスコンクリートであり、温度ひびわれの発生を抑制するためである。高強度連壁コンクリートに高性能減水剤と流動化剤を併用したのは、水セメント比の低減の他、打設時の流動性を確保したためである。高落差圧送コンクリートへの不活性微粉末材の適用は、その混入により単位微粉量を増加させ、加圧ブリージングの低減を図ると同時に、水和熱の増大を抑制したためである。

また、この様な大型地下構造物の逆打ち高流動コンクリートに、分離低減剤と膨張剤を併用した事例はほとんどない。

3. 使用材料

各種コンクリートに使用した材料を表-2に示す。高強度連壁コンクリートと高落差圧送コンクリートに使用した流動化剤あるいはAE減水剤は、時間経過に伴うスランプロスの抑制が可能な遅延形とした。これは、前者のコンクリートにおいてはトレミー打設時の流動性を、後者のコンクリートにおいてはポンプ圧送時の管内流動性を確保するためである。なお、逆打ち高流動コンクリートは、混入する水溶性ポリマーの特性により凝結時間が遅延するため、その流動性は長時間保持できる。逆打ちコンクリートの膨張剤にアルミ粉末を使用したのは、打継部の一体性を確保するため、打上り高さの1.0～2.0%の膨張量を必要としたことによる。

表-1 コンクリートの要求品質項目と対応策

コンクリートの種類	適用部材	要求品質項目	対応策	
			配合	適用材料
高強度連壁コンクリート	地中連続壁	高強度	水セメント比の低減	高性能減水剤と流動化剤
		低発熱性	断熱温度上昇量の低減	低発熱セメント
高落差圧送コンクリート	側壁	圧送時の材料分離抵抗性	加圧ブリージングの低減	不活性微粉末材
	底版	低発熱性	断熱温度上昇量の低減	低発熱セメント
逆打ち高流動コンクリート	側壁打継部	打継部充填性(打継部一体性)	流動性の確保 ブリージングの低減 膨張性の付与	流動化剤 分離低減剤 膨張剤

表-2 使用材料

区分	種類	物性、主成分など	備考
セメント	低発熱型	比重 2.97, スラグ 60 %	A, B, C
	高炉セメント	比表面積 3,455cm ² /g	
細骨材	陸砂(登別産)	比重 2.68, 粗粒率 2.61 吸水率 1.2%, 実積率 67.1 %	
粗骨材	砕石(敷生川産)	比重 2.68, 粗粒率 6.64 吸水率 2.0%, 実積率 59.9 %	
混和材	石灰石粉	比重 2.69, 水分 0.1% 比表面積 7,200cm ² /g 75μ以下84%	B
混和剤	高性能減水剤	比重 1.19±0.01 フタリツルホソ酸変性リグニン縮合物	A
	AE減水剤(遅延形)	比重 1.11±0.01 リグニツルホソ酸誘導体	B, C
	流動化剤	比重 1.21±0.01 メタミツルホソ酸系	C
	流動化剤(遅延形)	比重 1.15±0.02 フタリツルホソ酸変性リグニン縮合物	A, B
	分離低減剤	比重 1.3±0.01 水溶性ポリマー(セロ-シ-テル)	C
	膨張剤	アルミ粉末(特殊表面処理)	

(注) A: 高強度連壁コンクリート C: 逆打ち高流動コンクリート
B: 高落差圧送コンクリート

表-3 高強度連壁コンクリートの配合

セメントの種類	設計基準強度 f'_{ck91} (kgf/cm ²)	呼び強度 f'_{sk} (kgf/cm ²)	目標配合強度 f'_{cr91} (kgf/cm ²)	スランプ(cm)		空気量(%)		W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)					
				ベース	流動化	ベース	流動化			W	C	S	G	ベース混和剤(C×%)	流動化剤(C×%)
低発熱型特殊高炉	370	470	560	10 ±2.5	23 ±1.5	4.5 ±1.0	4.5 ±1.0	34	45	146	429	801	981	1.6 (基本)	0.7 (基本)

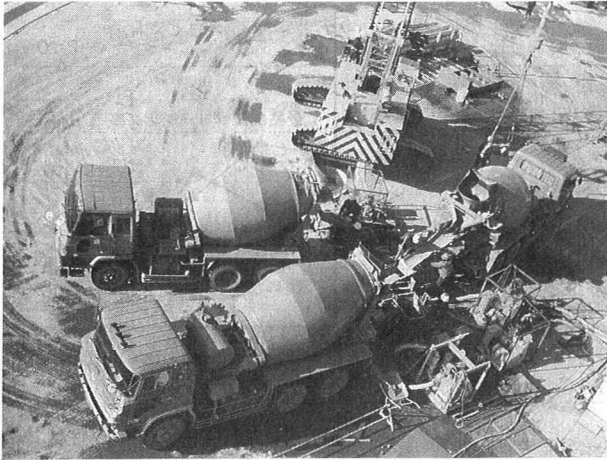


写真-1 高強度連壁コンクリートの打設状況

4. 高強度連壁コンクリート

4. 1. コンクリートの配合

高強度連壁コンクリートの打設状況を写真-1に示す。連壁コンクリートの打設は、各パネル毎（全28パネル）にφ250mmのトレミー管を用いて行い、その本数は打設数量と打設速度を考慮して先行エレメントで3本、後行エレメントで2本とした。

各トレミー管毎に配置したアジテータ車からのコンクリート排出速度を調整し、掘溝内でのコンクリート打上り高さが均一となる様に配慮した。

4. 2. 配合

高強度連壁コンクリートの配合条件と示方配合を表-3に示す。なお、表-3に示す配合条件の他に、スランプフローも管理項目としており、目標値55cmに設定した。コンクリートの混練は、ベースコンクリートをレミコン工場で練り上げ、現着後、ミキサ車のアジテータドラム内に流動化剤を所要量添加し、高速攪拌する方法とした³⁾。

4. 3. 打設コンクリートの品質

低発熱セメントを用いた高強度連壁コンクリートの断熱温度上昇試験結果を図-3に示す。低発熱セメントを用いた場合、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種を用いたものに比べて最高上昇温度を10℃～15℃程度低減できることが認められる。

図-4に流動化剤の添加率と練り上がり温度の関係を示す。この結果より、流動化剤の添加率はコンクリート温度の影響を受けることが認められる。これは、流動化剤に含まれる分散剤の温度依存性の影響と思われる、通年施工における流動化剤の添加率の設定において有用なデータと考える。

圧縮強度の統計処理結果を表-4に、度数分布を図-5に示す。基準材令91日における流動化コンクリートの圧縮強度は呼び強度（ $f'_{sl}=470\text{kgf/cm}^2$ ）を十分に満足し、平均強度で $f'_c=625\text{kgf/cm}^2$ と高い値を示している。また、流動化コンクリートの変動係数は、配合設計に用いた変動係数（約8.0%）より小さく良好な結果が得られた。これらの結果と、壁面状況も良好であったことを考え合わせると、高強度連壁コンクリー

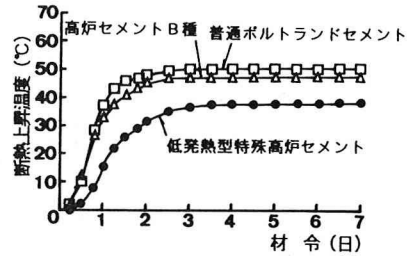


図-3 断熱温度上昇試験結果

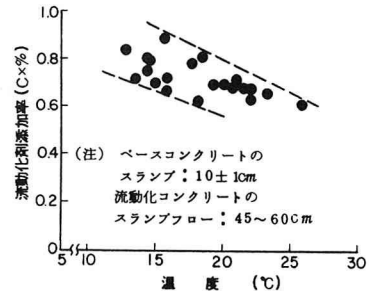


図-4 流動化剤添加率とコンクリート温度の関係

表-4 圧縮強度の統計処理結果

項目	ベースコンクリート			流動化コンクリート		
	7日	28日	91日	7日	28日	91日
データ数 (個)	167	167	55	167	167	55
平均値 (kgf/cm ²)	248	458	640	241	450	625
標準偏差 (kgf/cm ²)	15.3	18.1	30.9	16.4	22.9	37.9
変動係数 (%)	6.2	4.0	4.8	6.8	5.1	6.1

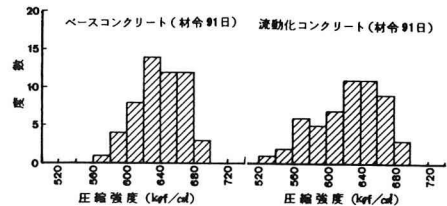


図-5 圧縮強度の度数分布

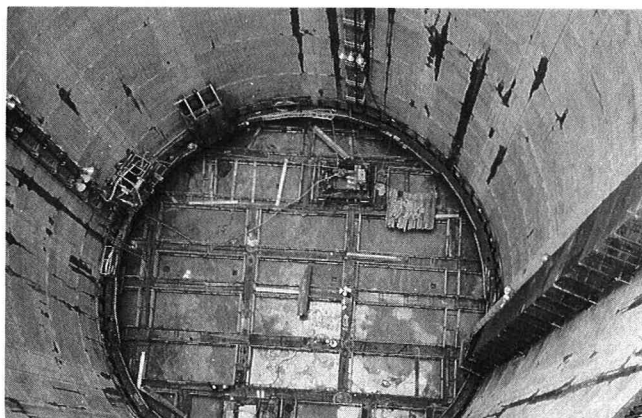


写真-2 高落差圧送コンクリートの打設状況

トの機能は十分発揮されたものとする。

5. 高落差圧送コンクリート

5. 1. コンクリートの打設

コンクリートの打設状況を写真-2に示す。打設は、地上に配置した4台のポンプ車から縦配管を所定位置まで降ろし、ループ管（ $\gamma=1m$ ）を設け、ピンバルブを介して下り配管および水平配管により打設口まで圧送した。

側壁における打設口は、側型枠に設けた24箇所の開孔部とし、開孔部より縦シュートで打設した。なお、底版コンクリート打設時は深さ76mにも及ぶ高落差打設となり、圧送時はポンプ車前面で、圧送中断時はピンバルブ手前での加圧脱水による材料分離が危惧された。

5. 2. 配合

コンクリートの配合を表-5に示す。配合Aは基本配合であり、配合Bはポンプ圧送性を改善するために細骨材率を増大させた配合である。配合C, D, Eは、さらに加圧ブリージング低減を図るため、配合Bを基本に、細骨材に内割で石粉を混入したものである。スランプについては基本配合Aでは12cmとし、配合B～配合Eでは流動化剤により15cmとした⁴⁾。

5. 3. 打設コンクリートの品質

図-6に加圧ブリージング性状を示す。加圧力は深さ約80mの高落差打設での管内圧を推定した値である。60秒加圧ブリージング率はポンプ車から配管吐出口までの圧送時間を想定したものである。図-6より、60秒加圧ブリージング率は石粉の混入量が多い

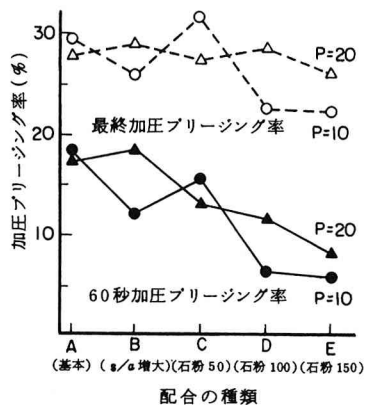


図-6 加圧ブリージング性状

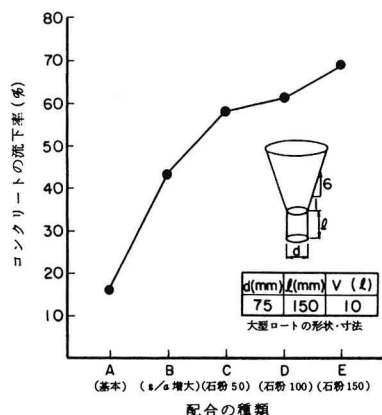


図-7 コンクリートの流下性状

表-6 石粉混入コンクリートの断熱温度上昇試験結果

配合	石粉 (kg/m ³)	温度測定値(℃)			近似式	
		打込み 温度	最高 温度	温度 上昇量	K(1-e ^{-αt})	
					K	α
B	—	19.0	55.3	36.3	3.6.5	0.6.1
D	100	21.0	58.5	37.5	3.7.6	0.7.0

表-5 高落差圧送コンクリートの配合

配合 種別	G _{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						AE 減水剤 (%)	流動化 剤 (%)
						W	C	S	石粉	G			
A	2.5	12±2.5	4.0±1	5.0	43.0	150	300	817	—	1083			—
B								911		989			1.0
C		15±2.5			48.0			863	50		0.2.5		1.2
D								812	100	989			1.8
E								764	150				2.3

ほど小さくなることが認められる。

図-7に大型ロート（ σ ロートと呼ぶ）を用いたコンクリートの流下性状を示す。この試験法はコンクリートの粘性を含む流動性を評価するものとして考案されたものであり⁵⁾、圧送管内でのコンクリートの変形性を表わしうるものと考えた。ここでは、 σ ロートより流出したコンクリート重量の比率をもって流下率とした。図-7より、基本配合に比べて細骨材率を増大した配合、石粉を混入した配合の順で流下率が大きくなり、また石粉の混入量が増大するほど流下率も大きくなることが認められた。

表-6に石粉を混入しない配合と石粉を 100kg/m^3 混入した場合の断熱温度上昇試験結果を示す。石粉を多量混入しても、K値で約 1°C 、 α で約0.1程度増加するのみであり、温度上昇への影響は小さいことが認められる。

これらの結果より、側壁第2ロットまでは基本配合Aを、側壁第8ロットまでを細骨材率を増大させた配合Bで施工し、底版コンクリートは石粉混入(100kg/m^3)配合Dで施工した。施工結果は高落差圧送でも管内閉塞を生じることなく良好であった。

6. 逆打ち高流動コンクリート

6. 1. コンクリートの打設

図-8にコンクリートの配管計画を示す。逆打ち高流動コンクリートの打設は、一般部コンクリート打設終了後、開孔部型枠を閉じて配管を切り替え、型枠最上部の全周に設けたホッパ（約2.0m ϕ ）から打設充填した。なお、型枠支保工には膨張圧による2t f/m^2 の側圧増加を考慮した。

6. 2. 配合

実施工に供したコンクリートの配合を表-7に示す。品質管理については表-7に示す項目の他に、スランプフローは $52.5\pm 7.5\text{cm}$ 、膨張率は $1.25\pm 0.75\%$ を管理範囲とした。ここでは目標膨張率は、一般部コンクリートの沈下の補償量と膨張率の変動を考慮して設定している。設計基準強度は材令28日で $f'_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$ である⁶⁾。

なお、コンクリートの混練は生コン工場に行い、水溶性ポリマーは粉体のまま細骨材と同時に、またアルミ粉末は流動化剤と同時にミキサ内に時差添加した。

6. 3. 打設コンクリートの品質

水溶性ポリマー添加量とブリージング率の関係を図-9に示す。水

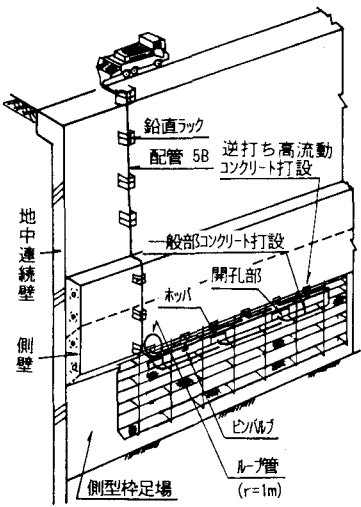


図-8 コンクリートの配管計画

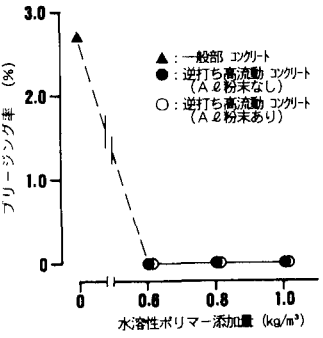


図-9 水溶性ポリマー添加量とブリージング率

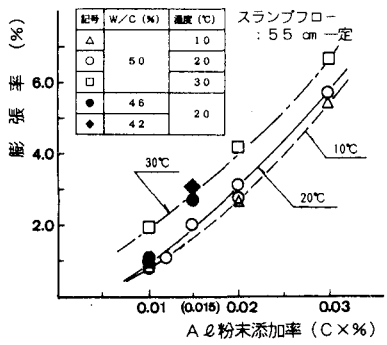


図-10 アルミ粉末添加率と膨張率

表-7 逆打ち高流動コンクリートの配合

区分	Gmax (mm)	スランプ (cm)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	W/C	s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)				混 和 剤			
							W	C	S	G	A E減水 剤 (C×%)	分離低減剤 (kg/m³)	A 粉末 (C×%)	流動化剤 (C×%)
逆打ち 高流動 コンクリート	25	24±1.5	52.5 ±7.5	4±1.0	46	43	150	326	807	1072	0.25	0.8	0.01	3.5

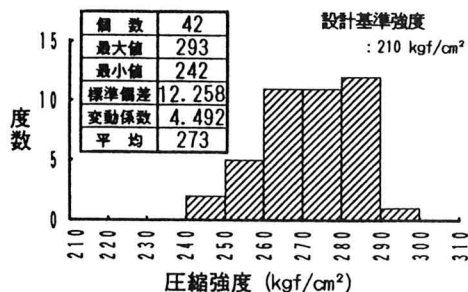


図-11 圧縮強度の統計処理結果

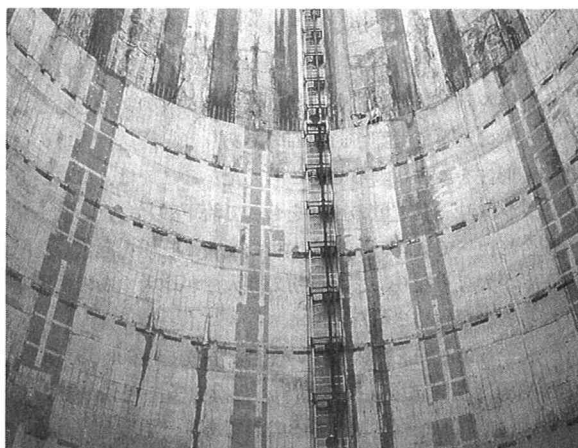


写真-3 逆打ち高流動コンクリート施工後の壁面状況

溶性ポリマーの添加量が $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 以上において、ブリージングの発生は認められない。

アルミ粉末添加率と膨張率の関係を図-10に示す。図中に示したコンクリート温度は膨張終了時点までの養生温度である。一般にアルミ粉末添加率と膨張率の関係には温度依存性のあることが知られているが、今回の結果においてもこの傾向が認められる。しかし、 10°C と 20°C の場合を比較すると膨張率に大きな差はなく、目標膨張率（ 1.25% ）付近でほぼ同等の値を示している。これは、 10°C の場合、凝結遅延の影響で膨張が長く続いたためと思われる。これらの結果と打設時期（9月から翌年2月）を考慮して、品質管理における膨張率測定時の養生温度は 20°C とした。

材令28日における圧縮強度の統計処理を図-11に示す。供試体全数とも設計基準強度を満足し、変動係数は約 4.5% と小さい。この結果は、水溶性ポリマー、アルミ粉末、流動化剤などを併用した逆打ちコンクリートでも、市中生コン工場において、品質変動を小さく混練りすることができることを示唆している。

写真-3に逆打ち高流動コンクリート施工後の壁面状況を示す。壁面状況は良好であった。

7. あとがき

今回の工事に適用したコンクリートは、高強度連壁コンクリート、高落差圧送コンクリート、逆打ち高流動コンクリートなど多岐に亘っている。これらのコンクリートの施工結果は良好であり、また、コンクリートの基礎性状や施工に際して得られたデータは今後の適用に際し有用なものと思われる。

〈参考文献〉

- (1) 青木茂，芳賀孝成，吉尾一志：高強度化した大深度地下連続壁コンクリートの品質，土木学会第43回年次学術講演会，V-136，pp. 320 - pp. 321，1988
- (2) 榎木利弘，小賀坂俊昭，三上優三：白鳥大橋主塔基礎について（地中連続壁逆巻剛体基礎の施工），北海道開発局技術研究発表会講演概要集（2），第35回，1991
- (3) 川崎博己，田口史雄，三浦智：水中コンクリートの現状（白鳥大橋における事例），コンクリート工学 Vol. 28，No. 3，1990
- (4) 十河茂幸，玉木博之，青木茂，木須春雄：石灰石粉によるコンクリートの加圧ブリージング性状の改善効果（白鳥大橋における検討事例），土木学会第46回年次学術講演会，V-62，pp. 140 - pp. 141，1991
- (5) 近松竜一，三浦律彦，青木茂，十河茂幸：高流動コンクリートの流動性を評価する方法，（大型ロータ試験の提案とその適用性），セメント・コンクリート，No. 530，pp. 60 - pp. 66，Apr，1991
- (6) 熊谷勝弘，高橋守人，青木茂，十河茂幸：大型橋梁基礎における逆打ち高流動コンクリートの施工，セメント系充填材に関するシンポジウム論文集，コンクリート工学協会，pp. 47 - pp. 54，1992