

## (66) 超流動コンクリートの実構造物への適用

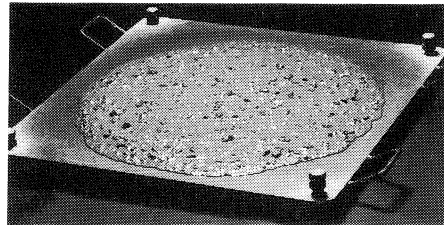
大成建設(株)技術研究所 ○新藤 竹文  
同 上 技術研究所 松岡 康訓  
同 上 土木設計部 田中 茂義  
同 上 東京支店 赤塚 一司

### 1. はじめに

コンクリートは、セメント・水・骨材等の比重の異なる種々の材料を組合せた複合材料であるため、運搬・打設・締固め等の各施工段階において本質的に材料分離を生じやすく、構造物全体として均等な品質を確保するのが難しい材料と言える。特に、締固め作業については、不十分であれば局部欠陥・空隙を生じるのは勿論のこと、逆に、過度の締固めは材料分離を助長することになり、責任技術者にとって入念な品質・施工管理が要求される。ここに、流動性に優れ、かつ分離抵抗性の大きいコンクリートを用いることにより、締固め作業を軽減あるいは無くしてコンクリートを打込むことができれば、人為的な技能差や管理の良否に左右されずに均等質で高品質なコンクリート構造物の構築が可能となり、省人化による施工性の改善は勿論のこと、従来の施工法そのものに大きな変革をもたらすものと期待できる。

このような締固めを必要としないコンクリートの基本コンセプトは、東京大学の岡村甫教授らによって、「ハイパフォーマンスコンクリート(HPC)<sup>1)</sup>」として提唱された。著者らは、この「HPC」を目標に研究を進めた結果、多糖類の天然高分子を分離低減剤として使用することによって、これと同等の流動性と充填性を有する超流動コンクリートを開発した。(写真-1)

本論文は、著者らの超流動コンクリートについての概要を述べ、さらに、実構造物としてプレストレストコンクリート斜張橋の主塔部への適用によって得られた知見をまとめたものである。



(スランプフロー60~70cm)

写真-1 超流動コンクリートのスランプフロー

### 2. 超流動コンクリートの概要

#### 2.1 製造方法および特徴

超流動コンクリートには明確な定義はなく、一般的には従来のスランプの範囲を越えた高流動コンクリートが対象になると考えられるが、ここで言う超流動コンクリートとは、「気中コンクリートを対象とし高流動性と高分離抵抗性を合わせもった締固めを必要としない高性能コンクリート」と定義する。

すなわち、材料分離がなく粗骨材を保持した状態で、締固めを行わなくとも材料自体の高充填性により、鋼材が複雑に配置された型枠の隅々まで充填する能力を有するコンクリートである。

著者らは、ポルトランドセメント・高炉スラグ・フライアッシュ・シリカフェーム等の結合材と水および細・粗骨材とを適正な量・比率で組合わせ、さらに、高流動性を付与するための高性能減水剤と高分離抵抗性を付与するための分離低減剤を添加することによって超流動コンクリートを製造している。

このように、使用材料および製造方法は通常のコンクリートの場合と殆ど同様であるが、分離低減剤として微生物の発酵により生産される多糖類(グルコース系)の天然高分子(分子量70,000程度、白色微粉末)を使用する点に大きな特徴がある。本分離低減剤は、結合材の水和機構には悪影響を及ぼさず<sup>2)</sup>、また、水中不分離性コンクリートに使用されるメチルセルロース等の混和剤と異なり、単位水量を増加させる必要はなく、空気連行剤により適正な独立空気泡を混入することができ、気中コンクリートの耐久性に悪影響を及ぼすことなく、所要の分離抵抗性を付与することが可能である<sup>3)</sup>。

## 2.2 フレッシュコンクリートにおける評価

前述のとおり、超流動コンクリートに要求される性能は高流動性と高材料分離抵抗性と言えるが、基本的には両者は相反する性能であることから、両性能を適正にバランスさせた上で極力高めることが必要となる。従って、締固めを行うことなく過密配筋部への充填を可能とするためには、これらの適正範囲を定量的に把握することが重要な課題と言えるが、これらの要求性能の定量評価法はまだ確立されていない。

著者らは、独自の評価試験方法を提案し、これによって超流動コンクリートの適正範囲の定量化を行っている。ここでは、本評価試験の概要と適正範囲について述べる。

### (1) 評価方法

超流動コンクリートの要求性能の評価手順を図-1に示す。このように、スランプフロー測定と分離抵抗性測定により流動性とモルタルの粗骨材に対する分離抵抗性を定量化し、さらにU型充填試験により充填性の良否を判定する。以下に各試験の概要を述べる。

#### i) スランプフロー試験

本試験は水中不分離性コンクリートに対して行われている試験とほぼ同様である。

すなわち、JIS A 1101に準拠したスランプ試験後の直径とフローの変形時間を測定し、コンクリートの流動性を評価するものである。

#### ii) 分離抵抗性試験

本試験はモルタルの粗骨材に対する分離抵抗性を測定するものである。

図-2に示すように、コンクリートのモルタル部について、予め試料中に挿入した十字の鋼板を一定速度で引上げ、その時の引上げ速度と引上げ荷重の関係から、図-3に示すように、モルタルの見掛けの降伏値および粘性を測定する。

なお、本試験はレオロジー定数を評価するものではなく、モルタルと粗骨材との相対的な分離抵抗性を測定する試験である。

#### iii) U型充填試験

本試験は、鉄筋が密に配置された部材中に締固めを行わないでコンクリートの充填が可能であるか否かを簡易的に判定することを目的として行っている。

試験は図-4に示すように、中央部に純間隔35mmで鉄筋(13mm異形棒鋼)を配置した障害部を設けたU型充填装置により行うもので、中央部のゲートを閉めた状態で片側にコンクリート試料を詰め、重り載せて一気にゲートを開け、障害部を通過した後のコンクリートの充填高さ: Hと障害通過後の粗骨材量を洗い試験により測定する。また、充填性の良否の判定は、充填高さ: Hが30cm以上でかつ障害部通過後の粗骨材量が通過前と同量となる場合を充填性良好と評価する。

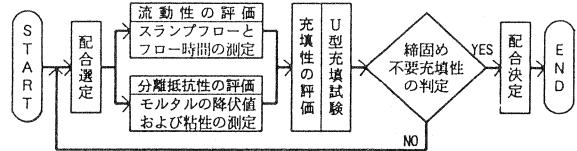


図-1 要求性能の評価フロー

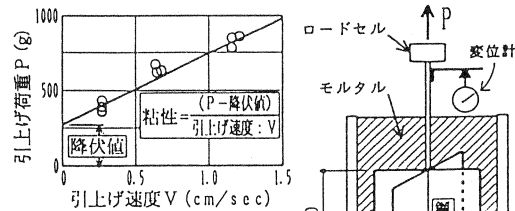


図-3 分離抵抗性の算定

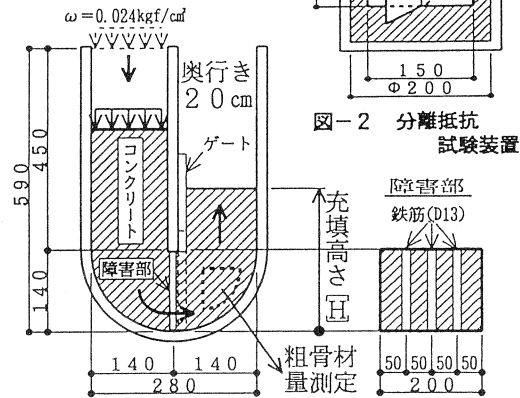


図-4 U型充填試験装置

(2) 適正範囲の選定

図-5は、スランプフローと充填高さの関係を示したものである。図-5より、充填高さ30cm以上の良好な充填性を得るために必要なスランプフローは、概ね、60~70cmの範囲であると言える。

また、図-6に、モルタルの見掛けの降伏値と粘性および充填性の良否の判定結果の関係を示す。

図-6より良好な充填性を得るために必要なモルタルの分離抵抗性は、降伏値として100g~300gの範囲であり、粘性として300g/cm/sec~1000g/cm/secの範囲で、特に、300g/cm/sec~700g/cm/secの範囲が良好であるのが分かる。

なお、これらは、水結合材比32~36%、単位結合材量400~500kg/m<sup>3</sup>、細骨材率45~48%、分離低減剤の添加量0~1% (単位水量×重量%)の範囲で検討したものである。

3. 実構造物への適用

図-7<sup>4)</sup>に示す総延長250mの橋梁の内、橋長151mのプレストレストコンクリート斜張橋の主塔部を対象に、現在、超流動コンクリートによる工事をを行っている。

ここでは、本工事の概要と施工に関する知見を述べる。

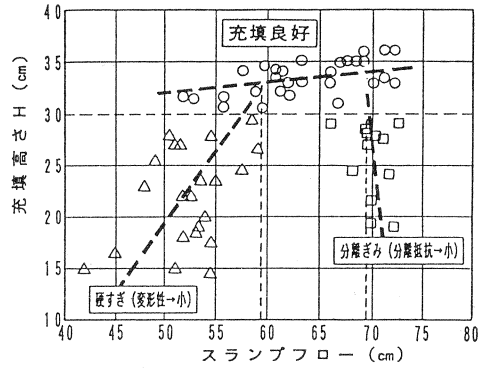


図-5 流動性における適正範囲

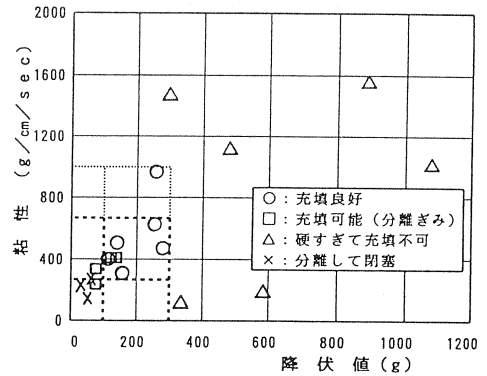


図-6 分離抵抗性における適正範囲

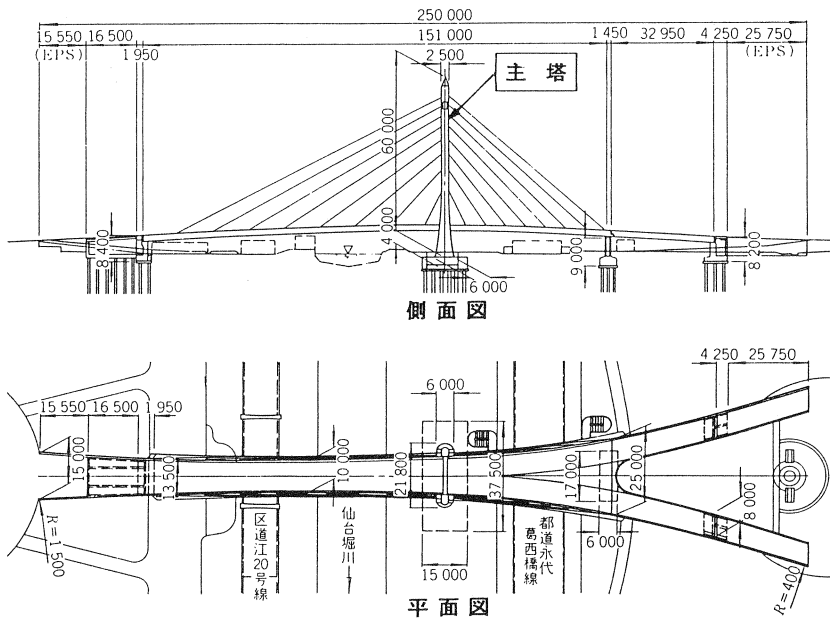


図-7 橋梁全体一般図

3.1 構造物の概要

超流動コンクリートの適用対象である主塔は、図-8に示すように、高さ60mの柱2本とこれらをつな

する横梁で構成される構造である。

塔の断面は図-9に示すように5角形で、鉛直方向に曲線を保ちながら徐々に細くなる3次元的な形状である。

また、図-9に示すように、主筋としてD51を主体とした太径鉄筋が125mm間隔で2段配筋されているが、さらに、フープ筋(D25~D22異形棒鋼、125~250mm間隔)をはじめ、斜材定着部補強筋・鉄骨・ケーシングパイプ等の補強材が多数配置されていることから、局部的には鋼材間隔が5cm以下となる部分が生じる、非常に過密な配筋条件の構造部材である。

また、型枠作業と脱型作業を省略し施工の効率化を図るとともに、耐久性の向上とコンクリート仕上り面の改善による美観の向上を目的として、ポリマー含浸コンクリート製のプレキャスト埋設型枠を採用している。

以上のように、本構造物は極めて過密配筋で、かつ高精度を要求されることから、コンクリートの締固め作業に入念な施工管理と多大な労力が要求されること、さらに、脱型しないために打設後の充填性の良否を確認するのが困難なこと等の理由により、超流動コンクリートを採用することとなった。

なお、斜材定着部の配置間隔を考慮して、主塔は図-8に示すように、1ブロックを3.5mを基本として17ブロックに分割して施工したが、超流動コンクリートの適用対象は、斜材定着部があり配筋状態が密になる7~17ブロックおよび横梁とし、総打設量は約650m<sup>3</sup>である。

また、6ブロック以下はスランプ8cmのコンクリートを用いて、通常の方法により施工した。

### 3.2 超流動コンクリートの配合

超流動コンクリートの配合条件は表-1に示すとおりであり、表中の目標値により配合選定を行うとともに、実施における荷卸し時点での品質管理値とした。ここで、スランプフローに関する目標値は前述の評価試験による知見や既往の実構造物における実証試験の結果等を参考に決定した。

これらの配合条件ならびにU型充填試験により決定した超流動コンクリートの配合を表-2に示す。同表には使用材料の品質も併記する。

結合材には高炉セメントB種にフライアッシュを混合したものを、粗骨材は最大寸法20mmの碎石を使用した。また、高性能減水剤はナフタリンスルホン酸塩系である。

### 3.3 コンクリートの打設概要

#### (1) 製造および運搬

超流動コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場にて強制2軸ミキサー(容

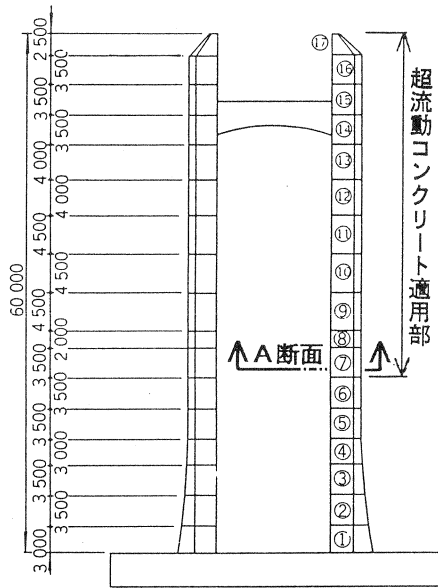


図-8 主塔形状およびブロック割り

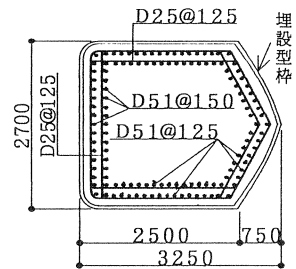


図-9 A断面配筋状況

表-1 配合条件

項目	目標値
スランプフロー	65 ± 5 cm
60cmフロー時間	10~20秒
空気量	4 ± 1%
設計基準強度 f <sub>ck</sub> : 材令28日	40.0 kgf/cm <sup>2</sup>

表-2 超流動コンクリートの配合

W/P (%)	S/a (%)	単 位 量 [kg/m <sup>3</sup> ]						
		水 W		結合材 P		細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤
34	45	170	400	100	717	907	11.0	0.8
材料		仕 様		比重	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)		粗 粒 率	
結合材P		KC	高炉セメントB種	3.04	3760		—	
		F	フライアッシュ	2.25	3160		—	
細骨材S		千葉県市原産中目砂		2.60	—		2.57	
粗骨材G		八戸産碎石G <sub>max</sub> =20mm		2.69	—		6.58	

量 $3\text{ m}^3$ )により1バッチ $2.5\text{ m}^3$ として練り混ぜた。材料の投入は分離低減剤を除き、いずれも自動計量・自動投入としたが、分離低減剤については細骨材の投入と同時に粉体の状態で計量槽に手投入した。

材料投入から練り混ぜ終了までの所要時間は1バッチ当たり約90秒である。また、トラックアジテータ車にて1台当たり $5\text{ m}^3$ 積載して運搬した。運搬時間は約30分であった。

(2)打設

コンクリートの打込みは、まず地上で運搬車からバケツ(容量 $1\text{ m}^3$ )に移し、クローラクレーンにて打設位置まで吊上げ(写真-2)、長さ8m程度で接続したフレキシブルシュートを介して行った。(写真-3)

フレキシブルシュートは打設部のほぼ中央部に固定し、その1ヶ所から流し込み、全体に流動させた。



写真-2 吊上げ状況

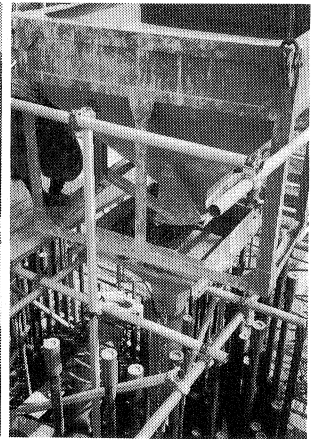


写真-3 打込み状況

3.4 品質管理試験結果

荷卸し時に、全ての運搬車を対象にスランプフロー・空気量・打込み温度・単位容積重量を測定した。

また、JIS A 5308に準拠した頻度で荷卸し時に圧縮強度供試体(Φ $10 \times 20\text{ cm}$ )を採取し、材令28日の圧縮強度を測定した。

なお、これらの供試体は実構物と同様に締固めを行わないで採取した。

図-10、図-11は、現在までに終了した各打設ブロックごとに、スランプフローと空気量の管理試験結果をプロットしたものである。

スランプフローの平均値は $68.1\text{ cm}$ (標準偏差 $2.5\text{ cm}$ )で、空気量の平均値は $3.5\%$ (標準偏差 $0.4\%$ )であり、所要の目標値を満足し、安定して得られているのが分かる。

なお、フローの変形速度についても概ね目標値を満足していた。

また、図-12は材令28日(標準養生)の圧縮強度管理結果を示したものである。

圧縮強度は平均値で $561\text{ kgf/cm}^2$ であり設計基準強度を十分に満足する高強度が得られた。

3.5 施工に関する知見

(1)充填性について

写真-4は、充填状況を示したものである。このように、締固めを行わなかったにも拘らず過密配筋部への充填性は極めて良好であった。

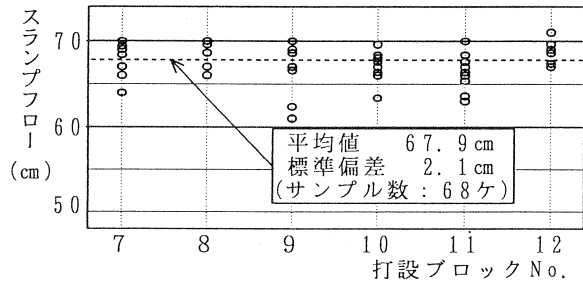


図-10 スランプフロー管理結果

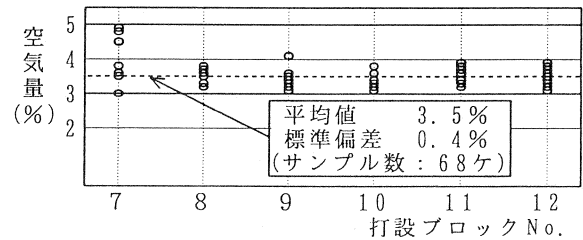


図-11 空気量管理結果

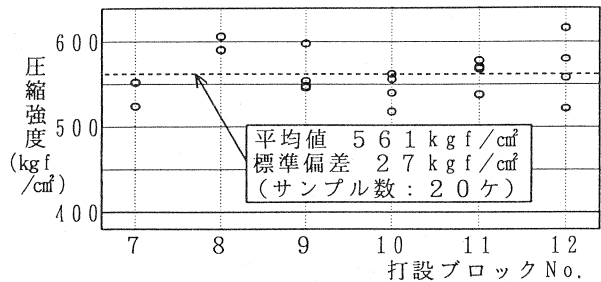


図-12 圧縮強度管理結果 (材令28日)

### (2)省人化について

超流動コンクリートの打設に直接携わった作業員はバケツの据付けとゲート開閉要員の2人であった。(写真-5)

なお、スランブ8cmの通常コンクリートを使用した場合には、締固め作業要員として6~8人が必要であったことから、超流動コンクリートを用いることにより、打込み時の省人化が可能であることが確認された。

### (3)施工の効率化について

運搬車からバケツへの投入→打込み位置への吊上げと据付け→流込み→吊下げの一連の作業において1サイクル当り約7分であり、運搬車1台につき30~40分を要した。

しかし、流し込みは30秒程度で終了していることから、殆どがバケツへの積込みと移動に費やされたものである。

一方、同様の打設方法によりスランブ8cmのコンクリートを締固め作業を行って打設した、主塔下部ブロックの施工では1サイクルに倍以上の時間を要した。

このように、超流動コンクリートを用いることにより、打込み作業の軽減や効率化が可能であることが実証された。

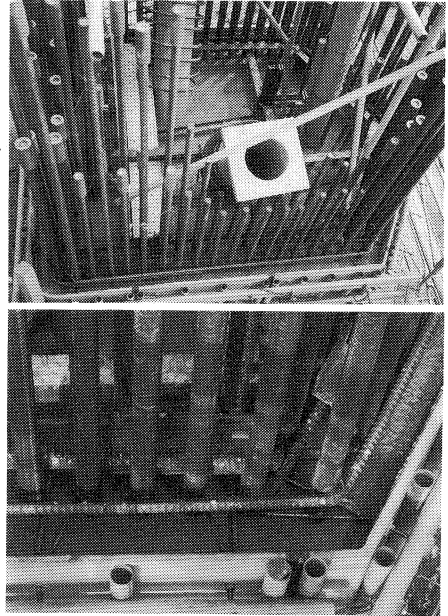


写真-4 過密配筋部への充填状況

## 4. まとめ

超流動コンクリートは、従来の「作業のできる範囲内で単位水量を極力小さくした硬練りのコンクリートを入念に締固める」という考え方を根底から変えた全く新しい概念のコンクリートである。

これまで、実構造レベルでの試験施工により施工性に関する種々の検証を行い、現状の設備や管理体制ならびに施工方法により円滑に施工できることを実証した。これらの実績を踏まえ、本報告に述べたPC斜張橋の主塔部への適用に至り、確実な充填性は勿論のこと、省人化をはじめとする効率化施工として確かな手応えを得た。

現在、超流動コンクリートは実用化へ向けての第1歩を踏出したばかりであるが、今後は超流動コンクリートの有する数々の優れた性能に即応した、建設工事全体のシステムの変革が望まれる。

これによって、従来の人中心であったコンクリート工事の省人化が現実のものとなり、21世紀へ向けての機械化・ロボット化施工への発展が大いに期待される。

最後に、超流動コンクリートの適用を承認して頂いた東京都建設局南部公園緑地事務所の皆様に、また、製造にあたり多大な御協力を頂いた日本強力コンクリート若州工場の皆様に深く感謝いたします。

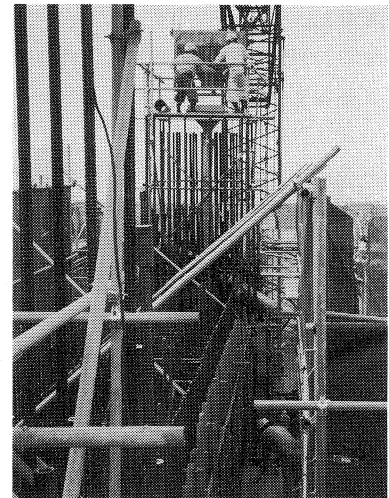


写真-5 打設状況全景

### (参考文献)

- 1)小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、vol. 11, pp. 699~704, 1989. 6. 12
- 2)新藤竹文・松岡康訓・坂本 淳・T. Somnuk：分粒低減剤(多量類ポリマー)が水和機構に及ぼす影響、土木学会第46回年次学術講演会講演要集、第5部、pp. 626~627, 1991
- 3)坂本 淳・松岡康訓・新藤竹文・横田和直：締固め不要コンクリートの硬化後の品質、土木学会第45回年次学術講演会講演要集、第5部、pp. 230~231, 1990. 9. 1
- 4)塚越 健・松尾政太・斉藤克之：木場公園大橋(PC斜張橋)の計画・設計・施工、橋梁と基礎、vol. 25 No. 5, pp. 2~10, 1991. 5. 1