

二重鋼殻構造物への締固め不要コンクリートの充填実験と強度試験

Filling Double-Wall Steel Structure with Concrete requiring no Compaction and Strength Test

清水 功 雄*
Isao SHIMIZU

太 田 貞 次**
Teiji OHTA

古 市 憲 男***
Norio FURUICHI

Summary

Double-wall steel filled with concrete is commonly recognized as a fine material with high strength and toughness. Its use is still uncommon, however, because of the difficulties of placing the conventional concrete and because costs are high.

Recently, concrete with high flowability and segregation resistance, and which can be placed without the use of vibrators, has been developed based on a new concept and put into use.

This paper describes an experiment which was designed to investigate the manageability of such concrete when used to fill a box section with an intermediate diaphragm. Favorable results were obtained.

1. まえがき

外殻を鋼板で構成された箱桁断面の中に、コンクリートを密実に充填した、鋼・コンクリートサンドイッチと呼ばれる構造材は、強さと粘りを合わせ持つ優れた材料として、土木・建築の分野でよく知られており、近年氷海での石油掘削リグ用のフーチング、あるいは沈埋トンネル用などの構造材として基礎的な研究が進められている。¹⁾²⁾

しかしながら、鋼殻断面内は断面を構成するために、ダイヤフラムや補強リブ等により複雑な構造になっているので、コンクリートを密実に充填する作業が難しく、コストがかかるので、一般的に使用されるにいたっていない。

最近、複雑な形状をした断面内へのコンクリートの充填の施工性の向上を目ざし、流動性、充填性に優れたコンクリートの開発研究が各方面で進められている。

そのなかで、“締固め不要コンクリート³⁾”と呼ばれる新しい考え方のコンクリートが開発され実用段階に入った。

筆者らは、このコンクリートをサンドイッチ部材で使用することを目的として、まずダイヤフラムで区切られた二重鋼殻内への充填施工試験を行い、コンクリートの流動状況を検証するとともに、硬化した部材の強度等を試験により確認してきた。⁴⁾

これらの試験結果から、千葉工場に新設された精密加工機械用の長尺の架台をサンドイッチ構造材で製作できると考え、中間ダイヤフラムを有する箱桁断面に、このコンクリートを充填した梁を設計した。

この梁を用いて、充填性について試験施工を行い、その信頼性を確認できたので、施工試験に用いた締固め不要コンクリートの状態、施工状況および充填状況について報告する。

2. コンクリートの選定試験

箱桁内部へのコンクリート充填施工試験を実施するに先立ち、使用するコンクリートの選定試験を行った。

選定試験は東京大学工学部土木工学科コンクリート研究室の技術指導により、(株)エヌエムビー中央研究所の協力を得て、同研究所にて実施した。

(1) 使用材料

コンクリートの選定試験はすべて施工試験に使用する材料によるものとし、セメントおよび骨材は施工実験を行う同じ材料を房総コンクリート(株)姉ヶ崎工場より搬入して使用した。

また、膨張材はこのような条件下での効果を検証する目的で試験を行った。

セメント : 普通ポルトランドセメント (小野田)

* 技術本部技術開発部技術開発課長

*** 千葉工場生産設計部生産設計第1課課長代理

** 技術本部技術開発部技術開発課課長代理

- 細骨材 : 市原産山砂
- 粗骨材 : 宇部産石灰石碎石
- 高炉スラグ: ファインセラメント20A 微粉末
(第一セメント)
- 混和剤 : 高性能AE減水剤 (株) エヌエムビー)
- 膨張剤 : デンカCSA#20 (電気化学工業)

表-1 箱断面に充填施工するコンクリートの示方配合

W/B	s/a	W	混和剤 1	混和剤 2
33.5	50.3	174	B×2.2%	20gf

B : C : Sg = 1 : 2.15

混和剤 1 : 高性能AE減水剤
2 : 増粘剤

(増粘剤)



写真-1 スランプフローの測定

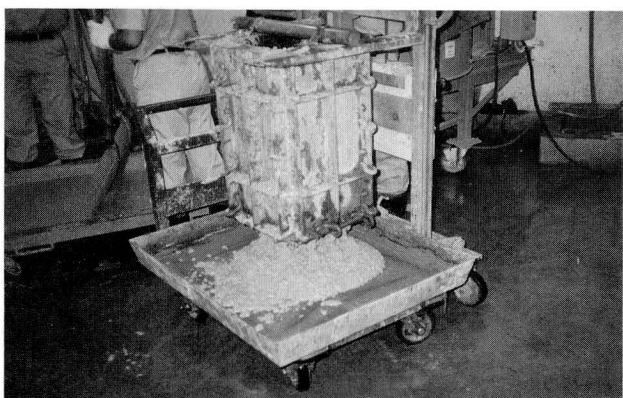


写真-2 充填性試験状況

表-2 室内試験によるコンクリートの配合選定
(配合は表-1と同じ)

混和剤 1	混和剤 2 gf/m ³	スランプ cm	スランプ フロー	空気量 %	温度 ℃	充填性試験 通過率 %
2.2%	20	27.0	65 (52秒)	2.2	29.5	100% (30秒)

- スランプフローの () 内数値はスランプフローが停止するまでの時間
- 充填性試験の () 内数値は通過時間

(2) コンクリートの配合

使用材料の測定結果により、スラグ系締固め不要コンクリートの示方配合は表-1のようである。

(3) 試験方法

コンクリートの性状を確認するための、主な試験方法は以下の通りである。

① スランプフロー

スランプ試験のコンクリートの広がり (最大径方向と直角方向) の平均値 (写真-1)。

② 充填性試験

写真-2に示す測定器による試験。(D16の鉄筋が50mmメッシュとなる底板を持つ鋼製容器に所量のコンクリートを詰めたと、容器を引き上げ底板からのコンクリートの通過率および通過時間を測定して、コンクリートの充填性を評価する方法)

③ 圧縮強度試験

直径100mm、高さ200mmの圧縮強度用供試体により所定材令 (7、28、91日) における圧縮強度を測定した。養生は標準養生とした。

④ 長さ変化測定試験

膨張コンクリートの拘束および収縮試験方法による。

(3) コンクリートの製造

コンクリートの製造は100ℓ強制練りミキサーを用い、以下に示した方法で練り混ぜた。特にモルタルの状態で十分練り混ぜた後に粗骨材を投入し排出した。



(4) 実験結果

室内実験により、表-2の配合を選定した。

この配合では高炉スラグ微粉末354kgf/m³、スランプ

フロー 65cm、フローの停止するまでの時間 52秒、充填試験による通過率 100%、通過時間 30秒である。

施工時の充填作業を安定して進めるためには、フローの停止するまでの時間と、充填試験の通過時間が長く安定していることが重要な要素になると思われる。

さらに、充填作業の施工性に大きな影響を与える、スランプフロー値の経時変化は120分後で3%程度と低下幅が少なく、作業性の良好なコンクリートが得られたと判断した(表-3)。

なお、膨張材の使用による効果は、今回の実験では確認できなかったため使用しないことにした。

表-3 室内試験結果(経時によるスランプフローの変化)
(配合は表-1に同じ)

	スランプ cm	スランプフロー cm	温度 ℃	空気量 %	充填性 %	通過時間 秒
直後	27.5	70.0	29.5	2.8	100	26
30分	27.5	69.0	29.5			
60分	27.5	66.5	29.5	1.8	100	55
90分	27.0	66.5	29.5			
120分	27.0	68.0	29.5	2.2	100	93

3. コンクリートの流動性試験

実際に製作する架台の箱桁断面の最大内側寸法は45cm×46.3cm×7m65cm(1.59m³)である。

この箱桁には中間ダイヤフラムが3ヶ所配置されており、ダイヤフラムにあける孔の断面積(開孔率)がコンクリートの充填性に影響する。

開孔率の実験的な検証は筆者らが実施した充填施工試験⁴⁾の結果を参考に、孔の径を決定した

ここで前述の充填施工試験について触れておく。

この試験は、平成2年春に実施した新日本製鐵(株)鉄構海洋事業部と(株)宮地鐵工所との共同研究の一部である。

(1) 充填試験に使用したコンクリート

この試験に使用したコンクリートは、助材として高粉末度(6000cm³/gf)の高炉スラグを使用した、スラグ系の締固め不要コンクリートである。

コンクリートの示方配合は表-1とほぼ同様である。粗骨材の最大寸法は20mm(採石)、高性能AE減水剤添加量は(セメント+スラグ)×2.5%を標準とした。

コンクリートの製造は一般のコンクリートプラントの協力を得て製造したが、スラグの投入を人力によらねばならないこともあり、1バッチ1.5m³・1日2バッチを限度とした。

コンクリートの品質管理はスランプフロー値を中心に行ない、現場での管理値を60cm±5cmに設定し、高性能AE減水剤添加量により調整した。

(2) 充填試験の実験装置

充填試験に用いた実験装置は、図-1に示す様な箱断面(全幅500、高さ200mm、断面の中心にφ100の開口部を

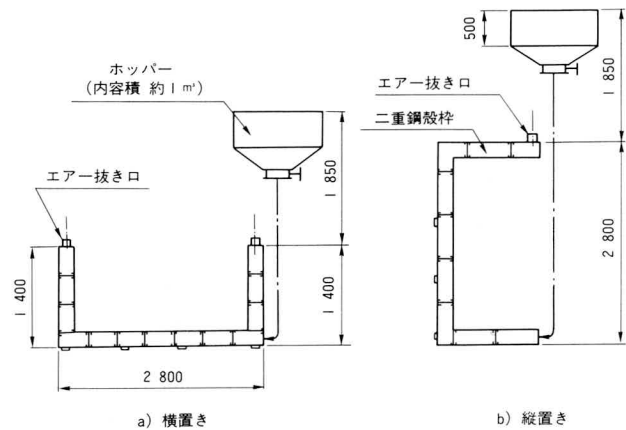


図-1 充填試験の実験装置

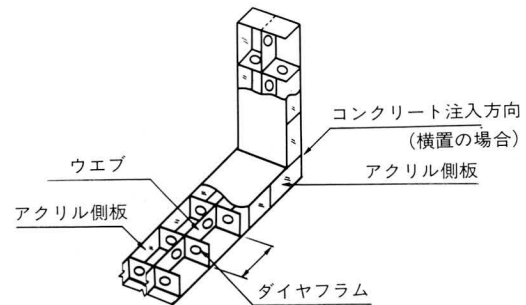


図-2 実験装置の構造

400ピッチで設けたウェブを持つ)で、2.8m×1.4mのコの字形である。

コンクリートはホッパーを用いた自然落下方式で注入する。中間のホースは骨材の最大寸法20mmの5倍、φ100mmとした。充填にバイブレーターは使用しない。

実験はダイヤフラムの開口面積率(孔の直径を100、125、140mm)および、ダイヤフラムの間隔(0、600、400mm)をパラメータとしてコンクリートの充填状況を観察した。

充填状況の観察は図-2のように、断面の両側面のアクリル板を通して、コンクリートの流動状況を目視により調査した。

(3) 充填状況

アクリル板を通して見た、コンクリートの箱断面内の通過状況は写真-3、4のように、コンクリートの舌先を巻きこむようにダイヤフラムの孔を通過して、移動していく状況がわかる。

コンクリートが充填不能になるケースでは、注入口近くのダイヤフラムの開口部で、骨材とモルタルが分離してしまい、コンクリートの流動が停止する(写真-5)。

コンクリートの注入のスピードと区画の間隔および開口率の関係が、充填性能に大きく関わっていると思われる。

注入のスピードはコンクリートの品質(スランプフロー、経過時間、コンクリートの不分離性)によるところが大きく分離気味のコンクリートでは相対的に早くなり、注入口付近ですでに、材料分離の傾向を示す。

充填実験による区画の間隔と開口率の関係は、間隔600mm、開口率25%(φ125)あれば充填性能は十分と判断した。

また、各区画の充填状況を確認するために、アクリル板を外した直後に、断面内の上面に気泡により乾燥した状態の部分がないか調査した。写真-6のように、コンクリートが充分充填されている状態が確認できた。

(4) 材料分離抵抗性

実験装置(図-1)の注入口とエア抜き口とで、コンクリートを採取し、通過粗骨材の重量の測定を行ったがほとんど差は認められなかった。

4. 長尺箱断面内への充填施工実験

(1) 充填施工実験に用いた箱桁

当社、千葉工場内に大型精密加工機械の製品固定用に長尺架台を設置する必要があり、表-4の3案について

表-4 精密加工機械用の製品受け架台の構造比較

鋼断面のみで構成する	箱断面とした場合、リブの位置に反力点を設ける必要があり使用状態に制約を受ける。製作費がかかる。
鋼断面内に無収縮モルタルを充填する	無収縮モルタルの価格はコンクリートの10倍以上になり費用がかかる。
鋼断面内に締り止め不要 コンクリートを充填	施工性はモルタルと同様簡単。価格はコンクリートに近いので経済的である。現在のところ、コンクリートの製造には特別な配慮が必要。

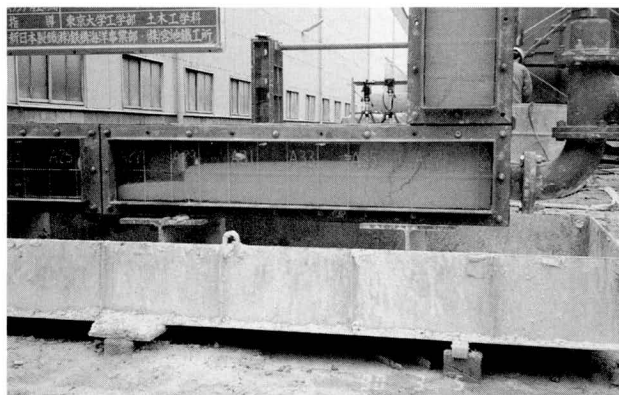


写真-3 アクリル板を通して見たコンクリートの充填状況(1)

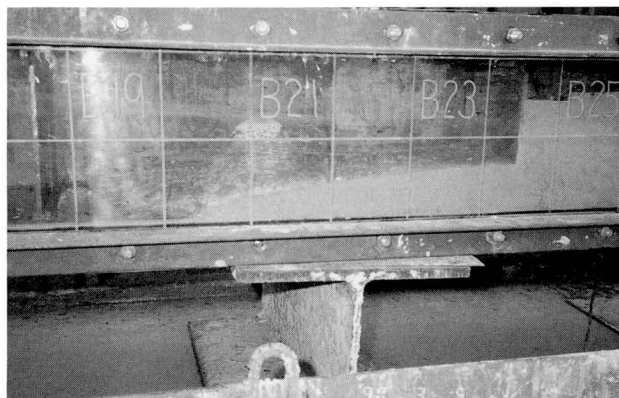


写真-4 アクリル板を通して見たコンクリートの充填状況(2)



写真-5 モルタルが分離して充填不能になった状況



写真-6 上面鋼板にも充分充填されている状況

比較検討した。

この架台は吊橋の主塔部材等の、高精度を必要とする端面切削加工時に用いるもので、以下のような条件を満足する必要がある。

- ① ジャッキベースの位置に制限がなく、反力による変位が無視できる程度 (10μ 以下)であること。
- ② 梁断面の上下面を機械仕上げして、重ねた場合に密着度が要求されるので、梁としての変形が微小であること。
- ③ 作業時に振動が生じにくいこと。
- ④ 廉価であること。

このようなケースでは、鋼箱桁内に締固め不要コンクリートを充填する案が、最も廉価で、各条件を満足する構造として、今後広く利用できると考えられる。

そこで試験施工として、架台の試作を試みた。

製作する架台の寸法諸元は長さ7.8m～1.3mまで計10体、他に充填試験用に1体の合計11体、7.5 m^3 である。

図-3は最長の7.7m (1.7 m^3) の架台である。

3ヶ所の間中ダイヤフラムの孔径は、3.項で述べた充填試験の結果を基に $\phi 150$ とした。(孔径/最大粗骨材寸法) = 7.5倍 ダイヤフラム間隔1.7m～2.1mなので、開口面積率は11%とやや少ないが十分充填できると判断した。

(2) コンクリートの製造

コンクリートの製造は市原市にある房総コンクリート(株)のパン型強制練りミキサー (3.0 m^3) によった。

使用材料は2.項の試験練りと同様である。配合は室内試験により選定された値によった。

練り混ぜ容量は1日必要打設量を4.5 m^3 に設定し、1バッチ1.5 m^3 ×3回練りとした。品質管理はプラントにて3バッチ分をミキサー車に投入して攪拌した後、排出して、スランブフローなどを測定した。

現状では商用プラントで少量生産する場合、今回のように高炉スラグのミキサーへの投入を人力で行う必要があり、その能力からも1バッチ1.5 m^3 程度が限界である。

練り混ぜ方法は室内実験と同様とした。しかし、全材料投入後の練混ぜ時間は1日目は室内実験と同じ90秒としたがやや材料分離が発生した。2日目は2倍の180秒として良好な結果を得た。

試験室の100ℓ程度のミキサーと、プラントとでは練り混ぜ時間に差が出るのか、今後の課題としたい。

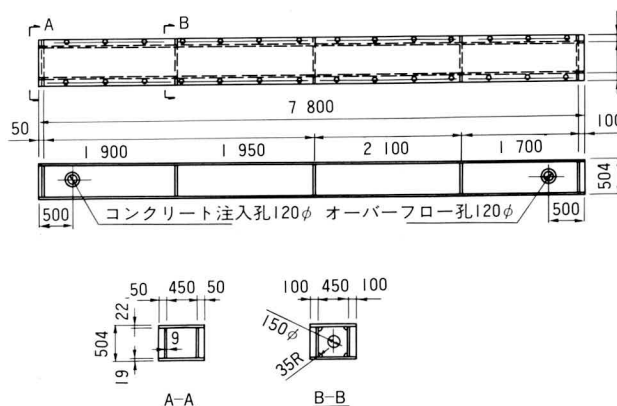


図-3 充填施工実験に用いた箱桁

表-5 コンクリートの打設実験結果(フレッシュコンクリートの性状)
(配合は表-1に同じ)

	スランブ cm	スランブ フロー-cm	温度 ℃	空気量 %	充填性 %	通過時間 秒
プラント	25.0	48.0	31.0	1.9	100	55
現場着 (40分)	27.0	63.0	31.0	1.6	—	—
施工中 (90分)	25.5	48.5	31.0	1.5	—	—

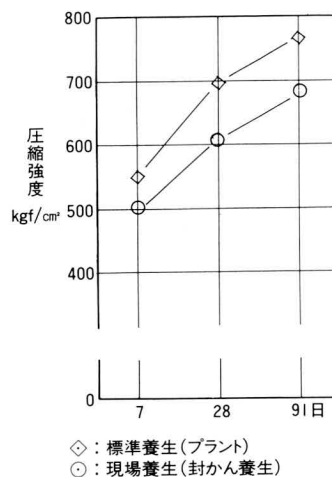


図-4 コンクリートの強度発現性

(3) フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの品質管理は、プラントでの製造直後、現場施工前(約40分後)および施工途中の3回実施したが、スランブフローの低下は少なく施工性に影響は与えていない。

現場施工前には、前出の充填性試験 (5cmメッシュ) も実施した。室内実験と同様な試験方法による試験結果を表-5に示す。

強度発現性は現場施工時のコンクリートについて供試体を作成した。強度試験結果を図-4に示す。

(4) 現場作業状況

今回製作した架台のコンクリート充填量は最小0.4m³、最大1.7m³である。

締め不要コンクリートの打設は注入圧を一定に保つとともに箱桁内の流動状態を中断させないことが重要な要素になる。

そこで、打設設備として写真-7のように、架台上に1m³ホッパー（コック付き）を固定し、打設時の高さを一定とした。別に用意した0.3m³のホッパーによりアジテーターからくり返し架台上のポッパーにコンクリートを投入した。箱桁とはサニーホース（100A）で連結してある。

このようにして、オーバーフロー孔に立てたホースに50cm位までコンクリートが流出するまで、一気に充填することができた。1.7m³の充填所要時間は15分である。

(5) 充填状況

ダイヤフラムで区画された箱断面（図-3）へのコンクリート充填状況の検証を、各区画のエアー抜き孔を利用して、各区画へのコンクリートの到達時間を測定した。

測定状況を図-5に示すが、2ケースとも安定した状態にあると言える。

充填した架台は4週強度の発現を待って、たたき検査によりエアーなどによる不充填箇所のチェックを行い、確実に充填されていると判断した。

現状では充填状況を超音波検査などにより検証する有効な方法は実用化されていない。

(6) 供試体の断面切断による充填状況の確認

鋼断面内のコンクリートの充填状況を検証する項目として

- ① 気泡の残り方
- ② 粗骨材とモルタルの分離状況
- ③ 鋼板とコンクリートとの肌すき

などが挙げられる。

筆者等はコンクリート打設直後から、コンクリートの収縮による肌すきを測定すべく、短い供試体を別に作成し、測定を行ったが有効な結果を得るにいたらなかった。

直接観測する方法として、コンクリートが充填された断面を切断し、マクロ試験体を作成した（図-6）。写真-8は、材令1年以上のマクロ写真である。

この写真から見るかぎりでは、打設時に上面になる部

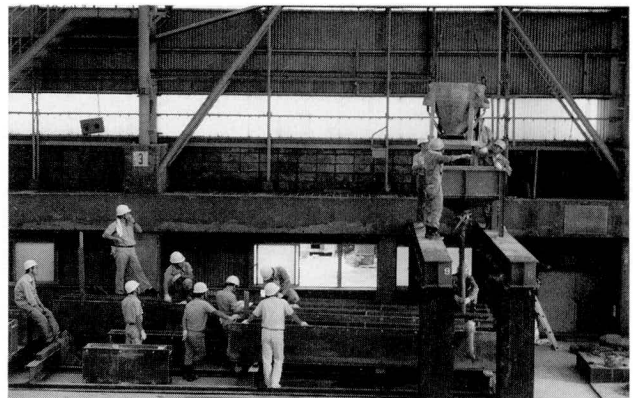


写真-7 長尺架台への充填状況

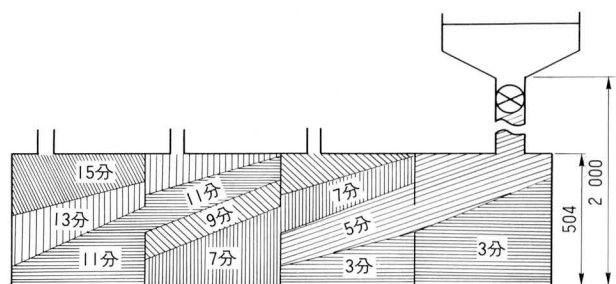


図-5 箱桁内へのコンクリート充填作業時の経過時間と充填状況（箱桁寸法；450×463×7650mm）

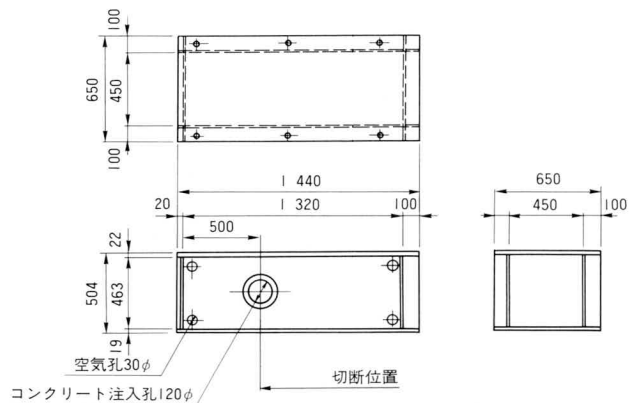


図-6 充填確認用供試体



写真-8 切断面のコンクリート充填状況

分をも含めて、充填性は良好であると判断できる。

5. あとがき

最近注目されているスラグ系の締固め不要コンクリートを、箱断面内へ充填させて一体化させる構造材は、サンドイッチ構造などの合成構造部材の有効な製作手段になりうる。

本報告では、従来無収縮モルタルでなければ充填できなかった複雑な鋼断面内への密実な充填作業が、締固め不要コンクリートの実用化によって十分可能になり、今後、鋼構造の分野でも広く用いられる工法になり得ると考える。

6. 謝辞

締固め不要コンクリートの実験に当たっては、東京大学工学部土木工学科コンクリート研究室の岡村教授・小沢講師には、コンクリートの配合設計をはじめ試験の指導をいただきました。

新日本製鐵(株)鉄構海洋事業部土木事業開発部の盛高、

木村、義若の各氏には充填施工実験において、(株)エヌエムビー中央研究所の岡沢課長はじめみなさんには架台への充填施工実験においてお世話になりました。誌上を借りて深謝するしだいです。

〈参考文献〉

- 1) 栖原、西牧、松石、竹下、岩田；鋼板とコンクリートから構成されるサンドイッチ式複合構造物の強度に関する研究(第1報～第3報)、日本造船学会論文集第141号、142号、145号
- 2) 秋山、小関、平、佐々木；鋼・コンクリート合成サンドイッチ構造部材の終局耐力、合成構成の活用に関するシンポジウム講演論文集、1986年9月
- 3) 岡村甫；新しいコンクリート材料への期待、セメント・コンクリートNo.475、1986年9月
- 4) 義若、小門、木村、盛高、清水；スラブ系締固め不要コンクリートの二重鋼殻構造への充填施工実験、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、平成2年9月

1992.1.14受付

グラビア写真説明

八谷大橋

八谷大橋の架設される大峠道路は、喜多方市岩月町宮津を起点とし、米沢市八田沢味清水を終点とする延長25.2kmでありトンネル14箇所、橋梁25橋を数える大規模事業となっています。

この路線のうち、福島、山形県にまたがる大峠は、明治15年に当時県令の三島通庸によって着工され、会津地方の県民による文字どおり汗と涙の大事業によって完成されたものでした。しかし現道は巾員狭隘であるうえ、地形が急峻で線形も著しく蛇行しており幹線道路としての機能を果せない状況にあり、又、峠付近では標高が1,250mにもなり、冬期は最大積雪深が6mとなることから、約6ヶ月間は交通途絶を余儀なくされています。

大峠道路(八谷大橋)の供用は平成4年に予定されていますが、供用されることにより冬期間でも通行可能になり大峠を越えるのに要する時間が大幅に短縮されるようになります。(会津若松、米沢間が距離にして12km、時間にして約35分短縮)又、南東北地方の背骨としての幹線道路が強化され、地域の産業、観光の発展が促進されることでしょう。(佐々木)