

報告 高流動コンクリートのプレキャスト PC 桁への適用

今井昌文*¹・中山弥須夫*²・高橋光紀*³・手塚正道*⁴

要旨：本報告は、普通コンクリートでは充填することが困難な形状のプレキャスト部材に高流動コンクリートを適用した施工報告である。高流動コンクリートの製造には一般に適さないとされる傾胴型ミキサを使用したのが、練混ぜ時間を長くすることにより所要の品質を確保することができた。しかし練混ぜ時の製造管理手法については、検討の余地が残った。また、コンクリート温度がフレッシュ時の性状（流動性、粘性）の経時変化量におよぼす影響は、使用する混和剤に大きく依存することが認められた。

キーワード：高流動コンクリート、傾胴型ミキサ、乾燥収縮、クリープ

1. はじめに

高流動コンクリートを適用した製品は、北陸新幹線東京駅乗り入れに伴って生じた中央線高架橋改築工事における、プレキャストブロック工法を用いたラーメン高架橋のプレキャスト部材である。この高架橋は景観を考慮して、断面は曲面を有し、また架設の点から、部材厚は非常に薄く設計されている。このため、普通コンクリートでは確実な充填や十分な締固め作業が困難であると想定され、高流動コンクリートを適用した。本報告は、高流動コンクリートを適用するに際して行った事前の検討、およびその施工について報告するものである。

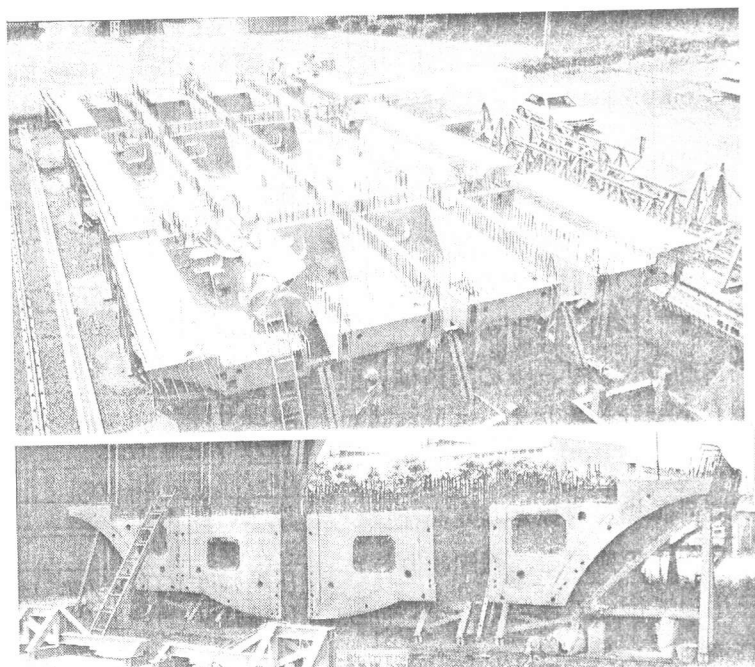


写真-1 プレキャスト桁全景（1径間）および断面

2. 製品の概要

本製品は、プレキャストブロック工法を用いたラーメン高架橋のプレキャスト部材であり、製品は施工現場搬入後に、架設位置で一体化される。桁の組立は、まず外ケーブルおよび内ケーブルを用いて1径間を単純桁とした後、外ケーブルを用いて桁同士を橋脚を挟んで連結し、ラーメ

*1 オリエンタル建設（株） 技術研究所 （正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） 東京工事事務所 （正会員）

*3 オリエンタル建設（株） 関東工場

*4 同上 技術研究所 （正会員）

ン構造とするものである。形状、寸法を写真-1および図-1に示し、主な仕様を以下に記す。

- ・ 1径間の桁長 20m 060 mm
- ・ 幅員 10m 600 mm
- ・ 1径間の分割数 12分割（橋軸方向3分割、橋軸直角方向4分割）
- ・ 1径間のコンクリートの打設量 120m³
- ・ 製作径間数 3径間（コンクリート総打設量 360m³）

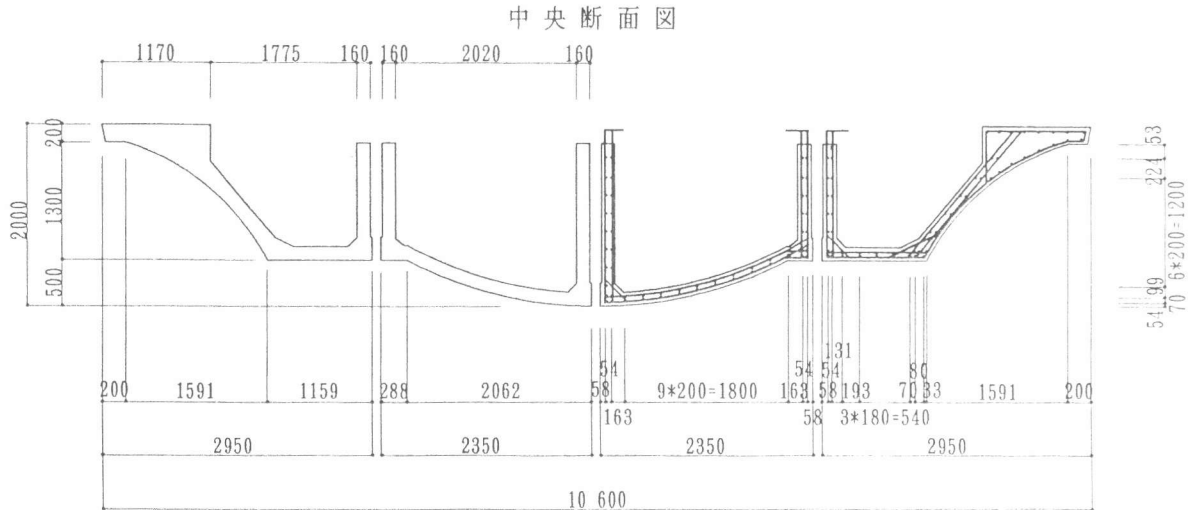


図-1 構造一般図（中央断面図）

3. 事前の検討および配合の決定

3.1 使用ミキサの検討

高流動コンクリートの製造は、強制練りミキサが適しているという報告[1]もあり、また筆者らも、PC 2次製品工場を対象とした高流動コンクリートの検討を、強制練りミキサを用いて行ってきた。しかし、今回高流動コンクリートの製造を対象とした生コン工場は傾胴型ミキサで

あったため、傾胴型ミキサと強制練りミキサを用いて、コンクリートの練混ぜ時間、ワーカビリティ、圧縮強度について比較し、傾胴型ミキサでの高流動コンクリートの製造についての検討を行った。強制練りミキサ（容量100l）、傾胴型ミキサ（容量50l）を用いて行った比較試験の結果を表-1に示す。①練混ぜ時間：練混ぜ時間は、コンクリートの練り上がり状態を目視により判断し決定したが、強制練りミキサでは、練混ぜ60秒程度より混和剤の効果と思われるコンクリートの軟化が始まり、90~120秒で練り上がり状態となったのに比べ、傾胴型ミキサではコンクリートの軟化には180秒を要し、練り上がり時間は240秒であった。②スランプフロー：流動性の指標となるスランプフローは、傾胴型ミキサのほうが大きい値を示した。強制練りミキサでは練混ぜ時間を傾胴型ミキサと同じに240秒としたが流動性への効果は見られなかった。③Oロート流下時間：粘性の指標となるOロート流下時間は傾胴型ミキサのほうが大きい値を示した。④圧縮強度は両タイプのミキサに違いは見られなかった。

表-1 ミキサ種類の練混ぜ性能比較

	強制練り		傾胴型	
	1	2	1	2
練混ぜ時間(sec)	90	120	240	240
スランプフロー値 (cm)	50/50	49/49	69/66	64/60
Oロート流下時間(sec)[2]	21	15	23	34
空気量 (%)	5.8	4.7	3.9	2.0
コンクリート温度(°C)	14.0	14.0	14.0	14.0
圧縮強度2日(kgf/cm ²)	—	*1 436	—	*1 403
圧縮強度7日(kgf/cm ²)	—	*2 614	—	*2 613

*1：標準室1日、水中1日

*2：標準室1日、水中6日

以上のように、高流動コンクリートを製造するに際して傾胴型ミキサを用いた場合、強制練りミキサに比べて、練混ぜ時間を長く必要としたり、製造されたコンクリートは粘性が高くなる傾向にあったが、ほぼ同一の圧縮強度を得られたことより、上記の特性を考慮し実機プラントミキサを用いた試し練りにより、配合の検討を行う事とした。

3.2 管理目標値および配合

実際の施工でのコンクリートの製造は、表-2に示すプラントミキサを用いた。材料投入および練混ぜ時間は図-2に示す方法で行い、コンクリートの打込みは、表-3に示すコンクリートポンプを用いた。

表-2 プラントミキサの仕様

形式	傾胴型56切
練混ぜ容量	1.5 m ³
練混ぜ能力	96 m ³ /h

表-3 コンクリートポンプの仕様

形式	油圧ピストン式
最大吐出量	100 m ³ /h
最大吐出圧力	135 kgf/cm ²

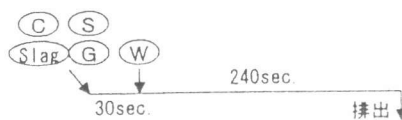


図-2 材料投入および練混ぜ時間

(1) コンクリートの配合および品質

実施工は7月～9月の夏場であり、特にワーカビリティの経時保持が問題となった。試し練りは、コンクリート温度が12℃前後の冬場から開始したが、外気温の上昇に伴ってコンクリート温度が上昇し、高性能AE減水剤の使用量および種類については修正が必要であった。一般に、普通コンクリートにおいても、夏期、冬期等において配合修正を行うが、特に高性能AE減水剤等を多量に使用する高流動コンクリートでは、施工時期を十分考慮した試し練りを行う必要があると思われる。

表-4 示方配合表

水結合材比 W/P (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (P×%)	遅延性減水剤 (P×%)	分離低減剤 (kg/m ³)
		W	C	Slag	S	G			
31.1	50.0	165	350	180	800	814	1.8	0.5	0.8

$$P = C + \text{Slag}$$

試し練りにより決定した示方配合を表-4に、使用材料を表-5に、また表-6に硬化コンクリートと荷卸し地点の管理目標値を示す。

表-5 使用材料一覧表

セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16
混和材	高炉スラグ微粉末 比重2.92 比表面積 3980cm ² /g
細骨材	鬼怒川産川砂 比重2.58 F.M.=2.70
粗骨材	鬼怒川産砕石 比重2.63 F.M.=6.73
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体
遅延性減水剤	グリコン酸化合物とリグニル系化合物の複合体
分離低減剤	高分子多糖類ポリマー

本配合を用いた高流動コンクリートのワーカビリティの経時変化、ポンプ圧送の影響を、図-3に示す。スランプフローは、30分経過時までにおいて約3～8cm程度大きくなり、その後60分までは

表-6 品質管理項目および管理目標値

フレッシュコンクリート	スランプフロー値	65 ± 5 cm
	0ロート流下時間	30 ± 10 秒
	空気量	4.0 ± 1.0 %
硬化コンクリート	圧縮強度	材齢2日: 200kgf/cm ² 以上 材齢28日: 400kgf/cm ² 以上

ほぼその値を維持したが、ポンプ圧送では5cm程度の低下が生じた。0ロート流下時間は30分経過までに15秒程度短縮するが、ポンプ圧送により若干増加する傾向にあった。図-4に圧縮強度とヤング係数の試験結果を示す。図中の"普通コン"は、配合強度550kgf/cm²、単位水量=165kg/m³、

W/C=50%、で早強セメントを使用したコンクリートの試験結果である。材齢2日強度はほぼ管理目標値であるのに対し、材齢28日強度は管理目標値を大きく上回った。高炉スラグ微粉末は、本配合程度のセメントとの置換率(34%)において、若材齢では強度に寄与しないが、材齢28日では置換しないコンクリートと同等の圧縮強度を発現する[3]。このため材齢28日強度は、W/C=30%程度の高強度の配合と同等の圧縮強度を発現しているものと思われる。ヤング係数は普通コンクリートと比較すると、圧縮強度に比べて小さい傾向を示す。

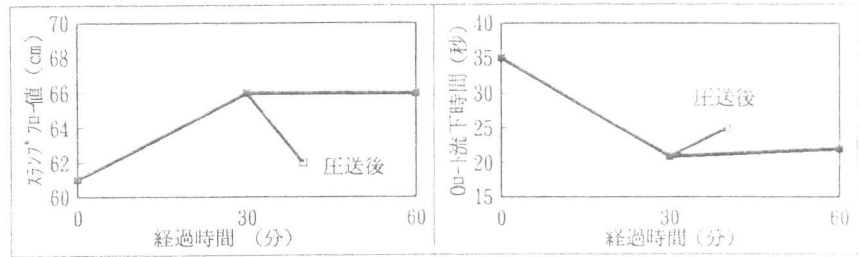


図-3 ワーカビリティの経時変化

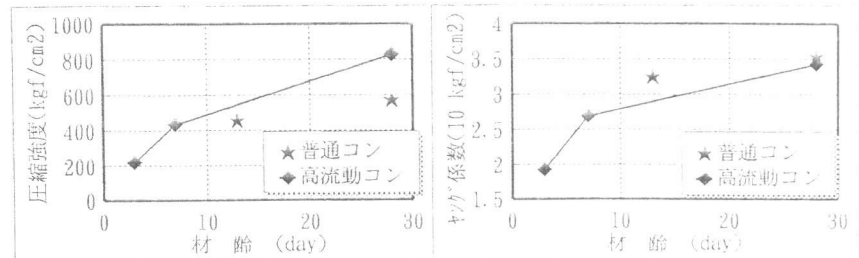


図-4 圧縮強度およびヤング係数

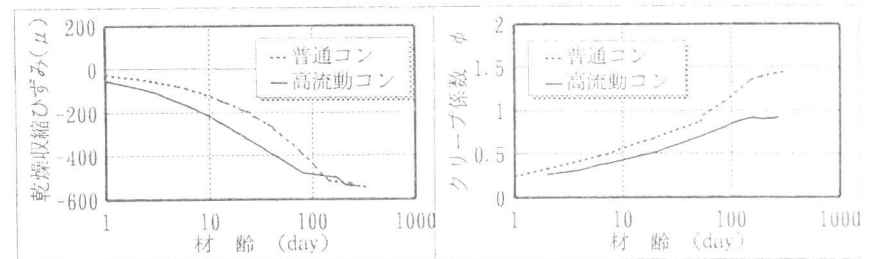


図-5 乾燥収縮度およびクリープ

一般に高流動コンクリートは、単位粗骨材量が普通コンクリートに比べて少ないため、同一強度においてはヤング係数は小さくなる。図-5に乾燥収縮ひずみとクリープ試験結果を示す。乾燥収縮試験は1週間の水中養生後、室温20°C、湿度60%に保持した。高流動コンクリートの乾燥収縮ひずみは、初期材齢では普通コンクリートに比べて約2倍程度大きい値を示したが、材齢約1年では、普通コンクリートとほぼ等しい値となった。この図から最終収縮ひずみは想定できないが、最終収縮ひずみが等しいと仮定した場合、早期に収縮が進行することは、PC構造物には有効であると思われる。クリープ試験は、1週間の水中養生後、室温20°C、湿度60%に保持し、材齢4週で載荷した。載荷による導入応力度は、両コンクリート共に160kgf/cm² (設計基準強度400kgf/cm²のコンクリートの使用時における圧縮応力度の限界値=0.4f_{ck})とした。その結果、図に示すように高流動コンクリートは、普通コンクリートに比較して約7割の値を示した。以上より、本高流動コンクリートは、プレストレス導入時のヤング係数に留意は必要であるが、今回の試験範囲内においてはその他の問題点は見られなかった。

(2) 管理目標値の設定

ワーカビリティの管理目標値は、図-6に示す模型型枠により評価した。模型型枠は内側型枠を透明とし、流動充填状況の観察を行えるようにした。また、内部には実構造物と同一の鉄筋を配置した。要求充填

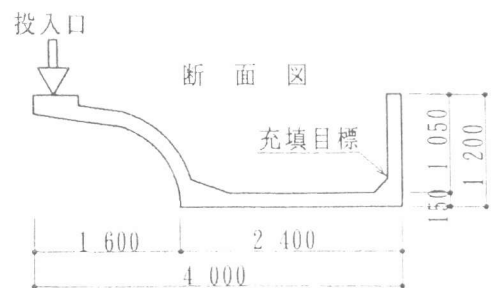


図-6 充填試験用模型型枠

性能は模型型枠において、片側ウェブより投入したコンクリートが反対側ハンチ上部まで充填する性能とした。その結果、スランプフローが55cm程度あれば施工可能であること、内側型枠面には直径1~2cm、深さ0.5~1mm程度の気泡が多く残ったが、外側型枠面は気泡はほとんど見られず、また充填不良箇所もないことが確認された。この打設試験と前記のポンプ圧送によるワーカビリティ変化を考慮し、荷卸し地点での管理目標値を表-6と定めた。

4. 施工

高流動コンクリートの打設は、1径間づつ3回行った。1回の打設量は120m³であり、5m³積みのアジテータ車で延べ24台であった。

4. 1 品質試験結果

施工時に行った品質試験項目を表-7に示す。

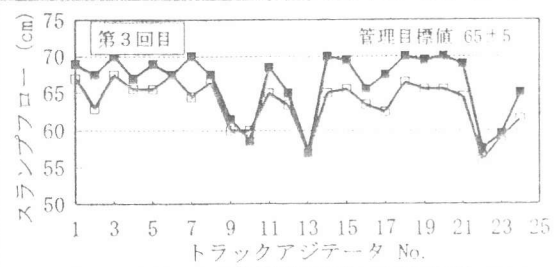
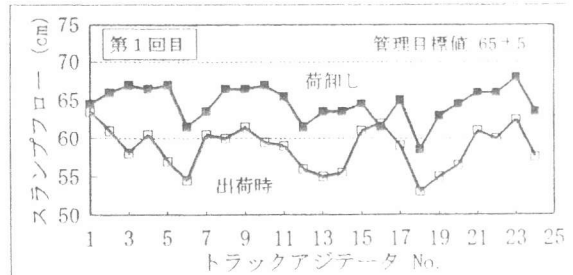
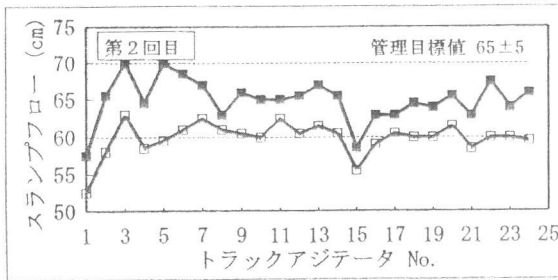


図-7 スランプフロー試験 全測定結果

表-7 施工時 品質試験項目

試験項目	測定頻度	
	出荷時	荷卸し時
スランプフロー試験	全トラックアジテータ	全トラックアジテータ
Oポート試験	—	全トラックアジテータ
50cmフロー試験*	全トラックアジテータ	全トラックアジテータ
空気量の測定	—	1回/2~3台
コン温の測定	—	全トラックアジテータ
圧縮強度試験	—	1回/5台

*1:スランプフローが50cmに到達する時間

スランプフロー試験の全測定結果を図-7に、第1回目施工時の、その他の品質試験測定結果を図-8に示す。傾胴型ミキサは練混ぜ中のコンクリートの目視観察が不可能なため、製造時のワーカビリティ調整は、出荷時においてスランプフロー試験、50cmフロー試験を全数行い、そのデータをもとにプラントで水量調整する方法を行ったが、ほぼ管理目標値を満足する製造が行えた。計画は、ミキサ電流負荷値による管理を目標としたが、管理を満足する精度が得られないのに加え、コンクリートがミキサに付着することにより、ミキサ電流負荷値は変動することが認められ、電流負荷値は参考値とした。表-8は、各施工時におけるワーカビリティの

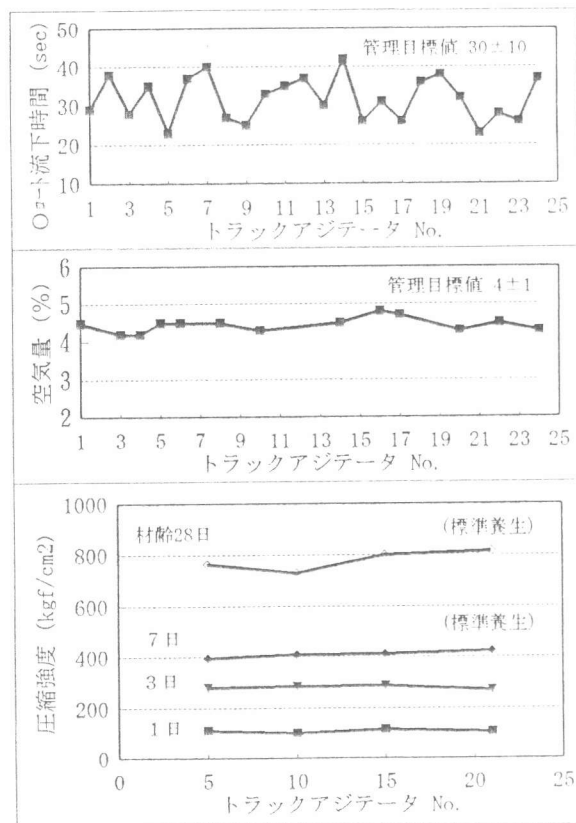


図-8 荷卸し時 品質試験測定結果(第1回目)

変化を比較したものである。表-7に示すように、第1回目施工時と第2回目施工時は、運搬によるスランブフローの伸び量は約5cm、50cmフロー時間の短縮量は約9秒とほぼ等しいのに比べ、第3回目施工時ではスラ

表-8 ワーカービリティの経時変化

	平均 運搬時間 (min)	スランブフロー 平均伸び量 (cm)	50cmフロー時間 平均短縮量 (sec)	コンクリート 平均温度 (°C)
第1回目	16.8	5.9	8.4	33.4
第2回目	9.2	5.1	9.5	32.5
第3回目	10.0	2.6	4.6	25.7

ンブフローの伸び量は2.6cm、50cmフロー時間の短縮量は4.6秒と小さくなっている。原因はコンクリート温度と考えられ、高性能A/E減水剤の温度特性に影響されていると思われる。

4.2 コンクリートの打設

コンクリートの打設は、前出(表-3)のコンクリートポンプにより、ポンプ車のブームのみで行った。筒先は5インチのフレキシブルホースを用いた。打設速度は生コンプラントの製造速度の関係より20m³/hであった。コンクリートの打設は、図-1に示す一区画の下床版を片押し施工により連続打設とし、下床版が完全充填した後ウェブ部を打設し、一区画終了後に次区画へ移動した。一区画ずつの施工は、不良コンクリート等のトラブル発生時の対処にも考慮したものであるが、このため、各区画の仕切型枠の剛性を確保する必要があった。

また外観を考慮して、区画毎にコンクリート打設後、内側型枠毎に2カ所取り付けられた外部振動機を30~60秒程度作動させた。内側型枠には、充填確認と空気抜きを目的に2m間隔にφ2cmの孔を設けたが、内側型枠下面には、模型試験と同等の気泡が残存した。特に外観を考慮した両側張出し部下面にはほとんど気泡は見られず、良好な打ち上がり状態であった。

4.3 養生

本コンクリートは、ブリーディングがほとんど無いため、コンクリート表面には、乾燥によるひびわれが生じやすい。よって施工時には、均し仕上げ後ただちに散水養生を行った。高流動コンクリートはペースト分に粘性を有しているため、養生水へのセメントの溶出は見られなかった。

5. まとめ

今回、プレキャスト桁に高流動コンクリートを適用した施工を通して、以下の結果を得た。

(1)傾胴型ミキサでも練混ぜ時間を240秒と長くすることにより、所要の品質を満足する高流動コンクリートの製造は可能であったが、練混ぜ時の管理に電流負荷値が用いられなかったことより、製造管理手法には検討の余地を残した。

(2)ワーカービリティの経時変化は、コンクリート温度に影響を受けやすいため、高流動コンクリートの配合は、施工時期を十分考慮に入れて決定する必要がある。

最後に、今回高流動コンクリートを製造するにあたり協力を頂いた、真栄生コン(株)、(株)ポゾリス物産の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡村 甫・前川宏一・小沢一雅：ハイパフォーマンスコンクリート
- 2) 三浦 律彦ほか：高速流動コンクリートに関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、pp.185-190、1991.6
- 3) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状：日本建築学会