

論文 透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響

前田哲宏^{*1}・松田孝允^{*2}・三島直生^{*3}・畑中重光^{*4}

要旨：本報では、2シリーズの実験結果について報告した。実験Iでは、透水性型枠を使用した高さ1mのコンクリート製壁状試験体について、表面硬度および内部強度分布に関する分析を行い、透水性型枠の使用により表層強度を大幅に改善できること、また、その改善効果は試験体上部において相対的に小さくなることなどを明らかにした。この結果を踏まえ、実験IIでは、試験体上部の品質改善方法として、再振動締固めを採用した。その結果、必ずしも十分とは言えないが再振動締固めによる表層強度の改善効果が確認された。また、透水性型枠面と壁内部では、再加振に最適な時期が異なることが明らかとなった。

キーワード：透水性型枠、表層硬度、内部強度分布、再振動締固め、反発硬度、圧縮強度

1. はじめに

現実の鉄筋コンクリート構造物には、コンクリートの打込み時のブリーディングや型枠脱型直後の早期乾燥などによって生じる表層欠陥部が存在する。鉄筋コンクリート構造物の耐久性を考える上では、この表層の欠陥部は致命的な問題となり、また、仕上げ材の剥離などの原因となる。

本研究では、これらの欠陥部となりうるコンクリート表層部の品質を改善することにより、鉄筋コンクリート構造物の耐久性および仕上げ性を大幅に向上させることを試みる。

本報では、コンクリート表層部の品質改善手法として、透水性型枠工法を採用し、まず、実験Iで透水性型枠を用いたコンクリートの表面硬度および内部強度分布に関する詳細な分析を行い、その改善効果および問題点を明確にする。さらに、実験IIにおいて、透水性型枠による効果の小さい壁上部のコンクリートの品質改善手法として再振動締固めを採用し、その効果に関する分析結果を報告する。

2. 透水性型枠を使用したコンクリート

透水性型枠工法については、主に土木分野において、多くの研究が行われ、実用されてきた¹⁾⁻⁶⁾。それらの研究結果を総括すると、以下のような改善効果が期待される。

- 1) 透水性型枠を使用したコンクリートの表面はあばたがほとんど発生しない(写真-1)。
- 2) 強度の改善の他、凍結融解、中性化、塩分浸透などに対する抵抗性が著しく向上する。

一方で、既往の研究結果によれば、透水性型枠を使用したコンクリート表層部の性状は、部材の高さ位置、またはシート面からの深さによって変わる傾向にある⁴⁾。しかし、これらの関係を明確にした研究はなく、透水性型枠を使用したコンクリートの性質をより深く理解する上で、さらに詳細な実験・調査が必要である。

3. 実験I:透水性型枠を用いたコンクリート壁体の性能評価

3.1 実験概要

本実験の透水性型枠とは、通常の合板型枠の

*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻(正会員)
 *2 三重大学 工学部建築学科
 *3 三重大学助手 工学部建築学科 工博(正会員)
 *4 三重大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

内側に透水性のシートを貼り付けたものである。

試験体は、図 - 1 に示すような、幅 450 × 高さ 1000 × 厚さ 180mm の壁状とし、図 - 2 に示すように片面のみに透水性型枠を用いた試験体 A、および透水性型枠を用いない試験体 B の 2 種類とした。透水性型枠からの排水は透水シート最下部のみとし、それ以外の型枠接合部は、シリコン樹脂にて防水処理を施した。コンクリートの調合を表 - 1 に示す。型枠は鉛直に立て、コンクリートは 1 層で打設し、木づちにより型枠全体をまんべんなく 2 分間たたいた。

3.2 測定項目

材齢 3, 7, 28 日に、試験体を立てた状態で各試験体側面の反発硬度を P 型ハンマを用いて測定した。材齢 28 日には、JIS A 1107 に準拠して圧縮強度の測定も行った。なお、圧縮試験用のコア供試体 (5cm) には、底面から 10cm 毎に水平方向のコアを 4 本ずつ抜き取り、それを 3 分割したものをを用いた (図 - 1, 2 参照)。なお、実験結果として示す圧縮強度は JIS A 1107 の補正係数 (h

$d=1.00$ のとき 0.89) を乗じた換算は行っていない。

3.3 実験結果

(1) 表面反発硬度

図 - 3 に、P 型ハンマによる推定強度の材齢に伴う変化を各段ごとの平均値として示す。なおここでは、表面の反発硬度を材料学会式によるコンクリートの推定強度に変換してある。透水性型枠使用面における強度は合板型枠使用面に比べて圧倒的に大きく、試験体の中下層部においては材齢 1 週間で、すでに合板型枠の 28 日強度以上を発現している。

図 - 4 は、各材齢における推定強度の分布を示したものである。透水性型枠の使用による推定強度の伸びは、とくに初期材齢において、上層部より下層部のほうが大きい。

図 - 5 は、透水性型枠試験体 A のシート不使用面 (図 - 2 の合板型枠側) と合板型枠試験体 B の表面硬度 (推定強度に換算) を比較したものであるが、両者の間にはほとんど違いが見られない。試験体の厚さは 18cm であるので、この結果から、透水シートによる排水領域は深さ 18cm 以下であることが推測される。

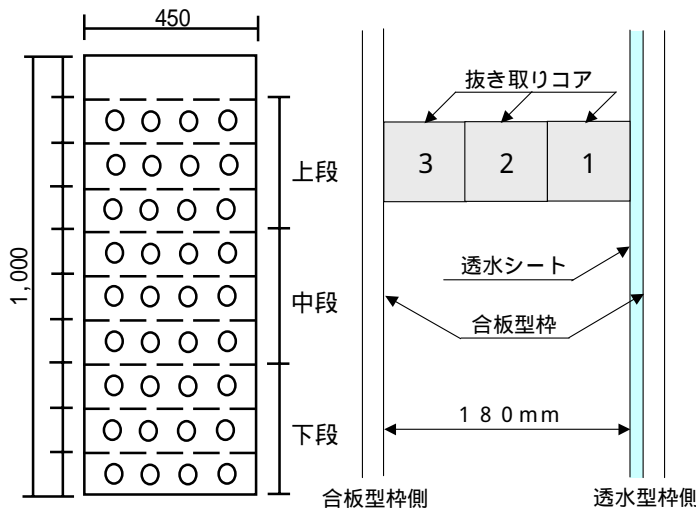


図 - 1 コア採取位置 (単位: mm)

図 - 2 コア抜き取り番号 (断面図)

(2) 内部圧縮強度分布

図 - 6 に、試験体 A および B の各高さ位置および表面からの各深さ位置にお



写真 - 1 透水性型枠 (左) と合板型枠 (右) を使用したコンクリートの表層

表 - 1 調合表 (実験 I)

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (kg/m ³)				SP/C (%)	Air (%)	SL (cm)	
			W	C	S	G			目標	実測
20	65	50	185	285	904	927	0.4	4.0	18.0	15.0

注) Fc: 目標圧縮強度, SL: スランプ値, SP: 高性能 AE 減水剤, Air: 設計空気量, SL: スランプ, 細骨材: 町屋川産川砂, 密度: 2.64g/cm³, 粗骨材: 志摩産碎石, 密度 2.68g/cm³

る圧縮強度の分布を示す。試験体Aでは、各高さ位置において透水シート表面近傍(コア1)ほど強度が大きくなっているが、10cm内部(コア2)に入ると合板型枠側(コア3)の強度より若干大きい程度である。この結果から、透水性型枠による強度改善効果が期待できる範囲は表面より10cm程度の深さまでであることが分かる。

4. 実験II：透水性型枠の品質改善効果に及ぼす再振動締固めの影響

実験Iの結果によれば、最下層部においては約13MPaもの強度の改善効果が見られるのに対し、上層部では、6MPa程度とその改善効果が非常に小さくなっている。これは、たとえ透水性型枠を用いてもブリーディング水が上昇することに加え、上載圧が小さいことなどによるものと考えられる。ここで、構造物全体としての耐久性がこのような最弱部によって決まってしまうことを考えると、この最弱部の品質を改善しない限り、透水性型枠による効果を十分に発揮させること

はできないといえる。このため、実験IIでは、試験体上部の更なる品質改善方法として再振動締固めを採用し、その効果を検証した。

4.1 実験概要

透水性型枠は実験Iと同様のものを用い、実験Iで用いた壁状試験体の上部300mmに相当する幅450×高さ300×厚さ180mmとした。打設直後の締固めは、棒状パイプレータによる内部振動により、また再振動締固めは、棒状パイプレータを型枠外側に金具を用いて固定する事で型枠振動機を想定した外部振動によって行った。再振動時間は10秒間とし、透水性型枠を用いる場合には、透水性型枠の外側から振動を与えた。

再振動締固めの前置時間を、コンクリートの打設後に締め固めた直後からの時間と定義した。これを透水性型枠を用いた試験体では、60,120,180,240分の4水準、透水性型枠を用いない試験体では120,240の2水準と設定した。また、これとは別に再振動を行わない試験体も作成した。養生は実験室内における気中養生とし

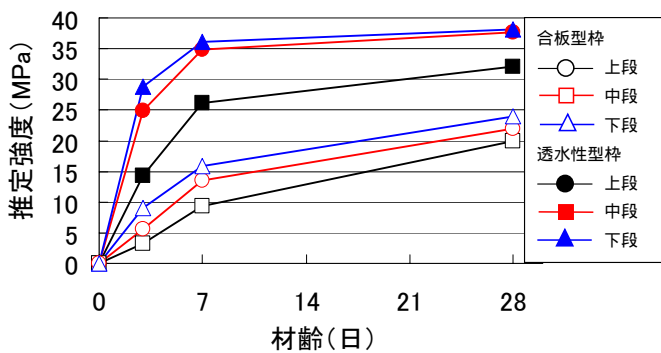


図-3 材齢による表面反発硬度の変化

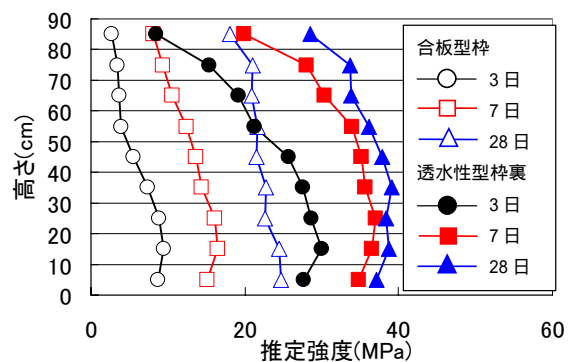


図-4 各高さ位置における表面反発硬度

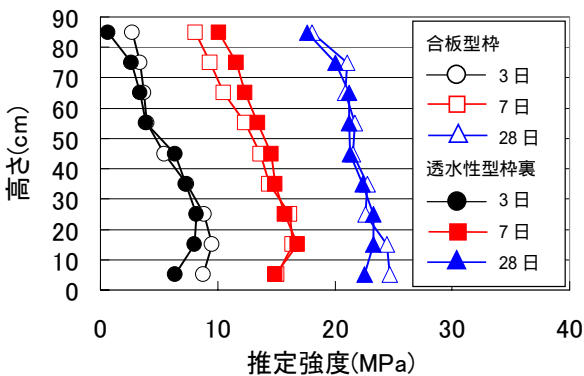


図-5 試験体Aの透水シート不使用面(透水性型枠裏)と試験体Bの表面反発硬度の比較

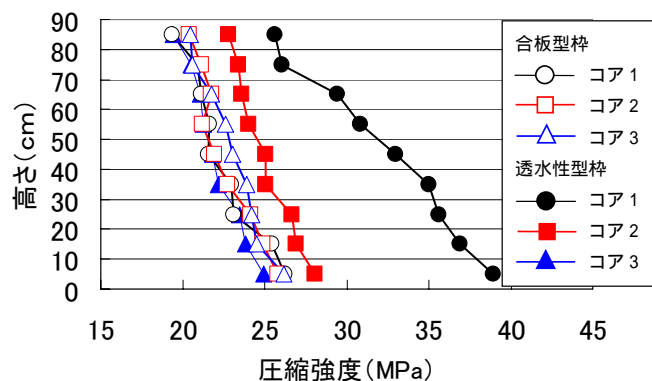


図-6 表面から各深さ位置(表層から1,2,3)におけるコア圧縮強度

た。コンクリートの調合を表 - 2 に示す。

4.2 測定項目

実験 I と同様に、反発硬度および圧縮強度の測定を行った。ただし、反発硬度試験に関しては、試験体を横に寝かせた状態で水平面の反発硬度を求めた。また、コンクリート打設時には、再加振時期との関連を考察するため、JIS A 1123 に準拠してブリーディング試験を行った。

4.3 実験結果および考察

(1) 表面反発硬度

図 - 7 に、透水性型枠および再振動締固めが反発硬度の分布に及ぼす影響を示す。

反発硬度から算出した表面の推定強度の分布形状には、透水性型枠や再振動締固めの有無に関わらず、最上層（約 10cm）のみ推定強度が低下する一定の傾向が見られる。また、透水性型枠を使用することにより、推定強度は 4MPa 程度増加しており、再振動締固めによる増分（2 ~ 3MPa 程度）よりも大きくなっている。また、再振動締固めによる効果は、透水性型枠と併用する事により単独の効果に比べて多少小さくなる。これは、透水性型枠を用いた場合には、再加振以前に

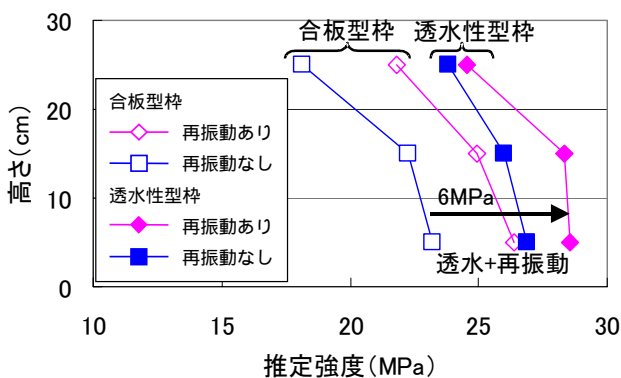


図 - 7 透水性型枠と再振動による反発硬度の変化

余剰水がかなり脱水されているためと考えられる。透水性型枠を用い、かつ再振動締固めを行った場合の推定強度の増加は 6MPa 程度であった。

図 - 8 に、再振動締固めの前置時間と推定強度の関係を示す。同図における再振動締固めの前置時間が 0 とは、打設時の振動締固めのみで「再振動を行わない」ことを意味している。既往の研究⁷⁾によれば、普通コンクリートにおける再振動締固めの最適な時期は、ブリーディング終了時とされている。本実験におけるブリーディング終了時間はおよそ 240 分であり、透水性型枠を使用していない試験体に関しては、前置時間の経過に伴い、推定強度の改善がわずかに見られる程度という傾向であった。一方、透水性型枠を使用した場合、推定強度の最初のピークが 60 分と、非常に早い時点となっている。これは、透水性型枠の脱水効果により、表面のみ W/C が低下し、部分的にブリーディング終了時期が早まったことによると考えられる。また、前置時間 240 分において、推定強度が再度増進しているが、これは、この時点までは再振動締固めによって試験体内部の強度増加量が最も大きくなるこ

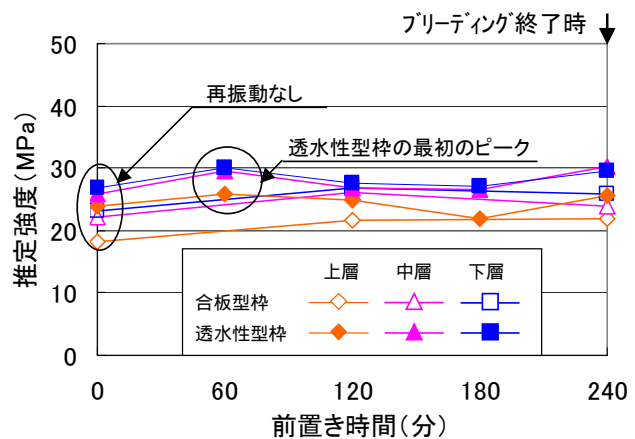


図 - 8 前置時間と表面推定強度の関係

表 - 2 調合表 (実験 II)

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量 (kg/m ³)				AE/C (%)	Air (%)		SL (cm)	
			W	C	S	G		目標	実測	目標	実測
35	60	42	185	308	737	1045	0.8	4.0	3.6	18.0	16.0

注) Fc: 目標圧縮強度, SL: スランプ値, AE: AE 減水剤, Air: 空気量, SL: スランプ

細骨材: 町屋川産川砂, 密度: 2.64g/cm³, 粗骨材: 志摩産碎石, 密度 2.68g/cm³

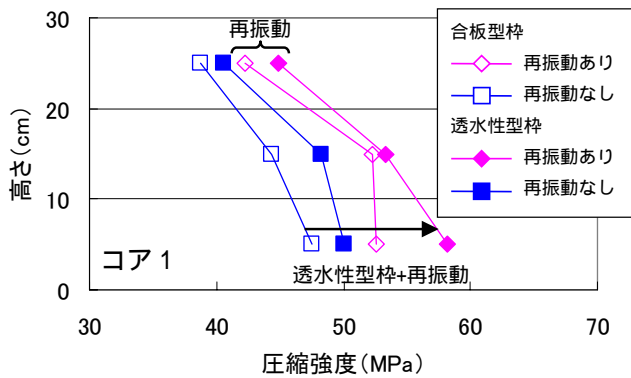


図 - 9 透水性型枠と再振動によるコア1の圧縮強度

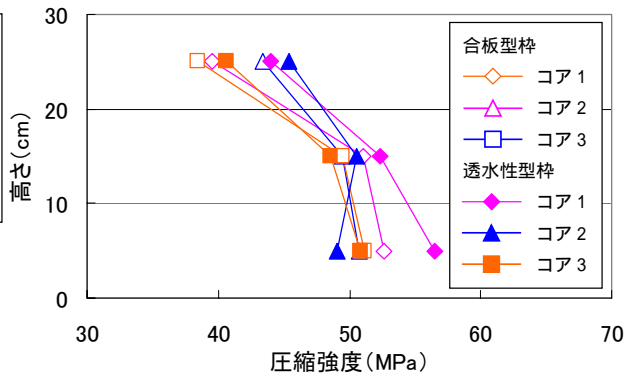


図 - 10 透水性型枠の影響深さ

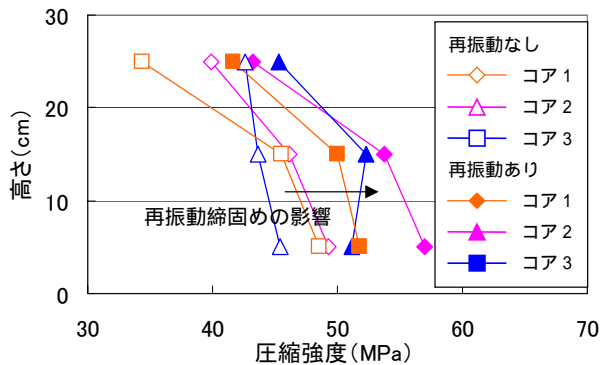


図 - 11 再振動の影響

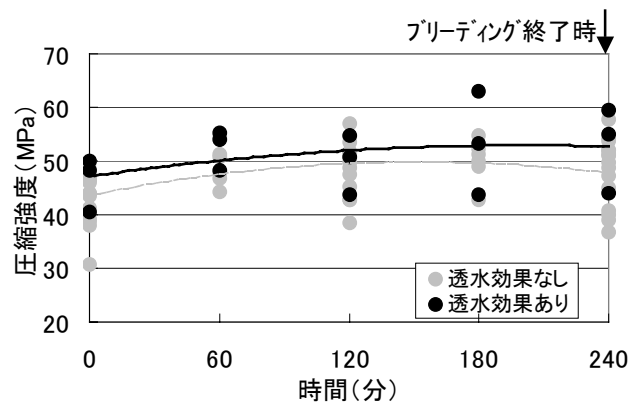


図 - 12 前置時間と内部圧縮強度の関係

と(後述)による影響ではないかと考えられる。

(2) 内部圧縮強度分布

図 - 9に、コア1の圧縮強度分布に及ぼす透水性型枠および再振動締固めの影響を示す。同図によれば、図 - 7に示した表面の推定強度とは逆に、透水性型枠による圧縮強度の増加量よりも再振動締固めによる増加量の方がわずかに大きくなっている。すなわち、透水性型枠よりも再振動締固めの方が、その効果がより内部にまで及ぶといえる。

図 - 10に、コア採取深さごとの圧縮強度に及ぼす透水性型枠の影響を示す。同図は再振動締固めの影響を無視し、平均した値を用いることにより、全体の傾向を示したものである。表層のコア1においては、透水性型枠の影響が見られるものの、コア2、3においてはその影響はほとんどないと言える。深さ10cm程度まで影響した実験1の結果に対して、W/Cを若干小さくした今回の実験においては、透水性型枠の効果は表層より数cm程度であった。すなわち、透水性型枠の

影響範囲はコンクリートのW/Cやスランプによって異なるものと考えられる。

図 - 11に、再振動締固めによる圧縮強度への影響を、コア採取深さごとに示す。同図は透水性型枠の影響を無視し、平均した値を用いることにより、全体の傾向を示したものである。内部の圧縮性状においても再振動締固めの影響は明らかで、表層だけでなくコア2、3においてもその影響は大きい。高さ方向においても同様のことが言える。すなわち、弱化層となっている上部においても再振動締固めの影響は大きく、全体的に約3～8MPaの強度増進が見られる。

図 - 12に、再振動締固めの前置時間と内部圧縮強度の関係を示す。同図中では、透水性型枠を使用した試験体にコア1のみを透水効果ありとして示し、その他の結果を透水効果なしとして示してある。透水性型枠の効果の有無に関わらず、前置時間が異なっても内部圧縮強度の改善効果に大きな差は見らず、データのばらつきも大きい。

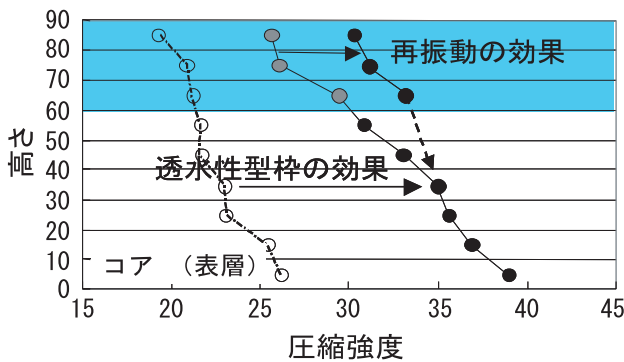


図 - 13 透水性型枠と再振動締固めを併用することで得られる効果の予測(図 - 6および図 - 9の累加)

表面の推定強度から判断した最適前置時間は、ブリーディング終了時(240分)よりも早い時期(60分)になったが、内部強度分布においてはそのような傾向は見られない。これは表層部のコンクリートでは、透水性型枠の影響により、ブリーディング終了時期そのものが変化するためだと思われる。また、本実験の結果からは、高さ方向における再振動の最適前置時間についての明確な傾向は見られなかった。

以上の結果から、透水性型枠を用いた壁状コンクリートの上層部に再振動を加えることによって期待できる内部(表層部のコア1)強度分布は、おおよそ図 - 13のようになると考えられる。

5. まとめ

- 1) 実験Iより、透水性型枠を使用することによって、コンクリートの表面および表層(コア1)強度を大幅に改善できること、強度の改善効果は、表層からおおよそ10cmまで及ぶこと、および強度の改善効果は、とくに初期材齢において打込み下部ほど大きいこと、などが明らかとなった。
- 2) 実験IIより、再振動締固めによる表層(コア1)強度の改善効果が確認された。特に、透水性型枠の効果の小さい試験体内部の強度において改善効果が比較的大きくなること、また、透水性型枠面と試験体内部では、最適な再加振時期が異なること、などが明らかとなった。
- 3) 現段階では、再振動締固めによりある程度

の改善効果は得られているものの、コンクリート構造物の耐久性の飛躍的な向上を目指す上では十分な効果とは言い難い。今後、新たな手法の開発も視野に入れた検討を進めていく必要がある。

謝辞: 本実験に際し、ご助力を頂いた梅本宗宏氏(戸田建設)に深謝致します。

参考文献

- 1) 石原誠一郎, 立松和彦: 脱水・脱気型枠によるコンクリート表層部の耐久性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集Vol.13 No.1, pp.561-566, 1991
- 2) 財団法人 土木研究センター: 型枠用透水シート F Sフォーム, 民間開発建設技術審査・証明事業認定規格に基づく土木系材料技術・技術審査証明報告書, 1996.7.3
- 3) 笠井芳夫, 長野基司, 佐藤孝一, 菅一雅: 透水型枠及び合板型枠を用いたコンクリートの品質判定に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10 No.2, pp.441-446, 1988
- 4) 竹田宣典, 平田隆祥, 十河茂幸, 芳賀孝成: 透水シートを用いた型枠によるコンクリート表面の品質改善, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11 No.1, pp.683-688, 1989
- 5) 宮川豊章, 井上晋, 久米生泰: 透水型枠を用いたコンクリートの表面及び内部の性質について, セメント・コンクリート論文集 Vol.45, pp.667-671, 1991
- 6) 菅原隆, 佐伯昇, 庄谷征美: 透水・吸水性シートを用いたコンクリートの表層強度特性に関して, セメント・コンクリート論文集, Vol.45, pp.672-677, 1991
- 7) 竹村和夫, 安部康俱: 再振動締固めによる強度の増進効果について, セメント技術年報, Vol.39, pp.249-252, 1985