論文 自由落下高さが異なる締固めを必要とする高流動コンクリートの硬 化後の品質に関する検討

氏家 勲*1・河金 甲*2・河合 慶有*3・蔦川 昌希*4

要旨:締固めを必要とする高流動コンクリートに関して、フレッシュ性状の検討に比べ、硬化後の品質に関 する検討はあまりされていない。本研究は締固めを必要とする高流動コンクリートの硬化後の品質、特に部 材内での均一性について明らかにすることを目的とし、自由落下高さを変えて締固めを必要とするコンクリ ートを用いた壁部材を作製し、非破壊検査の試験値の分布性状を検討した。締固めを必要とする高流動コン クリートはスランプ 12cm のコンクリートと比べ、均一性が高い。また、自由落下高さの違いによる部材全体 でのテストハンマー強度、超音波伝播速度および透気係数の変動係数に大きな差は見られなかった。 キーワード:締固めを必要とする高流動コンクリート、自由落下高さ、透気係数、超音波伝播速度

1. はじめに

コンクリート標準示方書[施工編:施工標準]において, コンクリート打込み時の自由落下高さは 1.5m 以下と規 定されている。これは高いところからコンクリートを落 とすと、コンクリートが型枠や鉄筋に衝突して材料分離 を起こしやすいためである¹⁾。しかしながら、コンクリ ートバケットを用いて打込み作業が行われることが多い プレキャスト部材製造時において、部材高が 1.5m を超 えるような場合は自由落下高さの規定を満足するのは困 難となる場合がある。この対策の1つとして、通常のコ ンクリートと比較して材料分離抵抗性に優れている高流 動コンクリートが適用されることもある。高流動コンク リートの自由落下高さはコンクリート標準示方書におい て 5.0m まで許容されている¹⁾。さらに,高流動コンクリ ートは構造物中のコンクリートの均一性確保に対する信 頼性が高いことから,耐久性に関する照査における安全 係数が小さく設定されている。例えば、鋼材位置におけ る塩化物イオン濃度の設計値のバラつきを考慮した安全 係数では一般には 1.3 であるが, 高流動コンクリートを 用いた場合は 1.1 としてよいとなっている ¹⁾。

一方,近年では高流動コンクリートと比較して材料コ ストを低減できるなどの利点を有する軽微な締固めを必 要とする高流動コンクリートの適用が進みつつあり,締 固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計や製 造・施工およびフレッシュ性状の品質評価などがとりま とめられている²⁾。しかしながら,締固めを必要とする 高流動コンクリートの硬化後の品質に関してはほとんど 検討されておらず,締固めを必要とする高流動コンクリ ートがフレッシュ性状の向上に加えて,硬化後のコンク リート品質も高流動コンクリートのように均一性に,よ り信頼性が高いかどうかを明らかにする必要がある。

そこで本研究ではプレキャスト桁部材の製造を想定 して、自由落下高さを変化させて製造したコンクリート 壁部材において、テストハンマー強度、超音波伝播速度 および透気係数の壁部材内での分布性状を検討して、自 由落下高さの違いが締固めを必要とする高流動コンクリ ートの硬化後の品質に及ぼす影響を明らかにすることを 目的としている。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

本研究ではプレキャスト製品を対象とした設計基準強 度 50N/mm² のコンクリートを使用した。比較のためのコ ンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、水セメ ント比が 38%で,目標スランプを 12±2.5cm とした(以 下,H38と呼ぶ)。一方,締固めを必要とする高流動コン クリートには早強ポルトランドセメントに高炉スラグ微 粉末 4000 を 30%置換した粉体系のものを用いた。水結 合材は 34% で目標スランプフローは 450±75mm とした (以下, B34 と呼ぶ)。表-1 にコンクリートの配合を示 す。高性能減水剤にはポリカルボン酸系のものを用いた。 実験で用いたコンクリートに関して、既往の報告を参考 にして²⁾, 粗骨材の沈下量評価試験を適用して材料分離 抵抗性を評価した。円筒容器に試料を詰めて、棒状バイ ブレータ (φ28) により 10 秒間締固めを行い,示方配合 の粗骨材単位質量を 100%として、上層部のコンクリー ト2リットルの粗骨材残存率を算出した。粗骨材残存率 は H38 が 87.0%, B34 が 69.4% であった。既往の報告で

*1 愛媛大学大学院 理工学研究科教授 博士(工学) (正会員)
*2 極東興和株式会社 営業本部技術企画部開発課 博士(工学) (正会員)
*3 愛媛大学大学院 理工学研究科准教授 Ph.D. (正会員)
*4 愛媛大学工学部環境建設工学科



表-1 コンクリート配合

測定値:H38 スランプ 10.0cm, 空気量 3.0% B34 スランプ フロー 480mm, 空気量 3.0%



は²⁾, 締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて 粗骨材残存率 70%が確保できる時間は 3~7 秒と報告さ れていることから, B34 の材料分離抵抗性は比較的高い といえる。

2.2 供試体の作製

実験に用いた供試体は幅 250×長さ 900×高さ 900mm の鉄筋コンクリート壁部材である。供試体の概要を図-1 に示す。型枠へのコンクリートの打込み時の自由落下 高さは図-2 に示すように, 1.2m と 3.6m の 2 通りとし た。自由落下高さ 3.6m はプレキャスト桁の最大桁高さ より決定した。また,自由落下高さ 3.6m の場合にはプレ キャスト桁に配筋されている鉄筋を模擬するため,コン クリートバケット直下 300mm の位置に 125mm 格子の鉄 筋 (D16)を配置した。自由落下高さ 1.2m では H38 およ び B34を用いて,自由落下高さ 3.6m では B34 を用いて, 合計 3 体の壁供試体を作製した。供試体はコンクリート の種類と自由落下高さを用いて, B34-3.6 のように表す。

全ての供試体において 1 層当たりの打込み高さは 30cm とし、3 層で打込んだ。また、締固め方法としては バイブレータ(φ50)を約 300mm 間隔で挿入し(1層に つき3箇所),1箇所当たりの振動時間をH38では15秒, B34では5秒とした。打設終了後は材齢5日まで型枠存 置で封かん養生し、脱型後は非破壊試験を実施するまで 屋内に静置した。

2.3 非破壊試験

本研究ではテストハンマー強度,超音波伝播速度および透気係数のそれぞれを壁部材で測定した。測定は材齢 42日に実施した。測定は図-3に示す位置で,縦方向6



図-2 型枠への打込み時の自由落下高さ





(1) テストハンマー強度

シュミットハンマーN型のテストハンマーを用いて, 壁部材表面で反発度を測定した。測定位置は図-3に示

供試体		H38	8-1.2			B34	-1.2		B34-3.6			
	全体	上 下	左	右	全体	上下	左	右	全体	上下	左	右
平均值 (N/mm ²)	79.1	78.0 80.2	79.5	78.6	81.9	79.4 84.5	81.6	82.0	81.3	81.2 81.3	81.5	80.9
標準偏差 (N/mm ²)	3.67	3.77 3.31	3.76	3.46	5.00	5.15 3.35	5.11	4.83	3.63	3.85 3.53	3.42	3.76
変動係数 (%)	4.64	4.84 4.12	4.72	4.41	6.10	6.49 3.97	6.27	5.88	4.47	4.74 4.34	4.20	4.65
t 検定 p 値		0.094	0.435		0.016	0.032	0.796		0.028 [0.550]	0.949	0.654	

表-2 テストハンマー強度の平均値・標準偏差・変動係数

す赤い円近辺で9箇所測定し,反発度の平均値からその 位置のテストンマー強度を求めた。高強度コンクリート の場合に,日本材料学会の強度換算式では強度を過小評 価することが報告されておりことから,次式を用いて反 発度(*R*)からテストハンマー強度(*F*)を算出した³⁾。

F(N/mm²)=0.561R/(1-0.0135R) (1) なお、テストハンマーの打撃方向は水平であり、供試体 は湿っていなかった。

(2) 超音波伝播速度

超音波伝播速度試験では超音波発信用探触子と受信 用探触子を図-3 に示す黒点の位置の両面に押し当てて, 弾性波の透過時間から P 波の伝播速度を求めた.測定は 1 箇所において 3 回行い、その平均値を伝播時間 t(µs) と し、超音波伝搬速度 v(m/s) は次式より求めた。

 $v = L/t \tag{2}$

なお,Lは供試体の部材幅(mm)である。

(3) 透気係数

透気試験はダブルチャンバー法を採用した. ダブルチャンバー法では外径 ϕ 100mm のチャンバー(内部に ϕ 50mm のチャンバー)をコンクリート表面に押し当てて 測定する。測定は図-3に示す赤い円(直径 100mm)の 位置で行った。透気係数は次式より算出した。

$$k_{T} = \left(\frac{V_{C}}{A}\right)^{2} \frac{\mu}{2\varepsilon P_{a}} \left(\frac{ln \frac{P_{a} + \Delta P_{ieff}(t_{f})}{P_{a} - \Delta P_{ieff}(t_{f})}}{\sqrt{t_{f}} - \sqrt{t_{0}}}\right)^{2}$$
(3)

ここで、 k_T :透気係数(m²)、 V_c :内部セルの容積(m³)、A: 内部セルの断面積(m²)、 μ :空気の粘性係数(=2.0×10⁻⁵N・s/m²)、 ε :コンクリートの空隙量(=0.15)、 P_a :大気圧(N/m²)、 ΔP_{ieff} :試験終了時内部セルの有効圧力上昇(N/m²)、 t_f : 試験終了時時間(s)、 t_0 :試験開始時間(s)(=60s)である。

3. 実験結果および考察

3.1 テストハンマー強度

表-2 はテストハンマー強度の平均値,標準偏差,変 動係数および *t* 検定の p 値の一覧を示す。表中の全体は

表-3 コアボーリングした供試体の圧縮強度

供試体	圧縮強度(N/mm ²)										
	全体	上	中	下	左	中	右				
H38-1.2	76.3	76.0	78.1	74.7	75.2	75.5	78.1				
B34-1.2	85.3	81.9	89.3	83.6	87.9	83.7	84.7				
B34-3.6	80.4	77.0	81.4	83.0	79.5	80.5	81.6				

得られた 30 点のテストハンマー強度の平均値,標準偏 差および変動係数である。上と下は供試体の上部と下部 に分けたそれぞれ 15 点に関するものである。左と右は 供試体に向かって左側と左側に分けたそれぞれ 18 点に 関するものである。従って,左と右では中央の6点のデ ータは重複している。また,有意水準を5%と設定して t 検定した結果のp値を,H38-1.2とB34-1.2はB34-1.2の 全体に,H38-1.2とB34-3.6の全体に,B34-1.2 とB34-3.6はB34-3.6の[]に示している。また各供試体 の上と下および左と右に関する t 検定のp値も表の最下 段に示している。なお,超音波伝播速度および透気係数 に関しても同じように測定値を統計処理した。

テストハンマー強度において、コンクリートの種類に よる大きな差はないが、H38 と B34 の t 検定の p 値は 0.016 と 0.028 で平均値に有意な差があるといえる。一方、 自由落下高さの違いがテストハンマー強度に及ぼす影響 はほとんどなく、p 値が 0.550 であり有意な差があると は言えない。さらに、B34-1.2 の上下を除いて、供試体内 のテストハンマー強度の分布には有意な差がない。

供試体と一緒に気乾状態で静置していた円柱供試体を 材齢 42 日で圧縮試験したところ,H38 が 65.7N/mm²で, B34 が 78.9N/mm²であり,式(1)で算出したテストハンマ 一強度の方が少し高い値となっている。表-3 は非破壊 試験終了後に供試体を 300×300mm の区分に 9 等分し, その区分の中心からコア(¢ 100mm)を採取して,材齢 64 日で圧縮強度試験した結果である。供試体の全体の平 均値および上中下と左中右でそれぞれ 3 本のコアが採取 されるので,その平均値を示している。コア供試体によ る供試体全体の圧縮強度はテストハンマー強度と近い値 となっており,H38 と B34 の全体の圧縮強度は,t 検定

供試体		H38-	1.2			B34-	1.2		B34-3.6				
	全体	上下	左	右	全体	上下	左	右	全体	上下	左	右	
平均值 (m/s)	4730	4680 4770	4760	4700	4700	4700 4700	4700	4700	4690	4690 4700	4710	4680	
標準偏差 (m/s)	76.8	55.6 77.3	77.4	60.3	50.6	42.6 59.1	38.8	57.9	45.3	48.3 36.8	38.5	43.7	
変動係数 (%)	1.63	1.19 1.62	1.63	1.28	1.08	0.91 1.26	0.83	1.28	0.97	1.03 0.78	0.82	0.94	
t 検定 p 値		0.0018	0.014		0.152	0.968	0.933		0.035 [0.388]	0.654	0.017		

表-4 超音波伝播速度の平均値・標準偏差・変動係数

		H38-1.	2		B34-1.2										
4720	4590	4630	4610	4620	4620	4660	4720	4680	4680	4770	4740	4690	4680	4660	4900
4800	4720	4710	4670	4700	4750	4730	4670	4660	4740	4680	4730	4680	4650	4570	4800
4740	4670	4720	4660	4650	4750	4710	4660	4710	4780	4750	4720	4680	4670	4670	4700
4850	4810	4750	4710	4750	4690	4720	4700	4720	4730	4680	4640	4700	4600	4700	4600
4870	4790	4780	4700	4650	4690	4660	4700	4650	4540	4700	4670	4690	4680	4710	4500 (m/s)
4850	4810	4840	4760	4660	4720	4740	4770	4740	4780	4750	4740	4780	4680	4690	(

図-4 超音波伝播速度の分布状況

により有意な差があると判定されている。また、上中下 の圧縮強度において、B34-1.2 では中の強度が高く、B34-3.6 では下になるほど強度が高くなり、傾向は異なってい るが、B34-1.2 と B34-3.6 の全体の圧縮強度には有意な差 がないと判定され、テストハンマー強度と同じであった。 従って、テストハンマー強度を含めて判断すれば、自由 落下高さの違いによる強度におよぼす影響はないと考え られる。

3.2 超音波伝播速度

表-4 は超音波伝播速度の平均値,標準偏差,変動係 数および t 検定の p 値の一覧を示す。また,図-4 は壁 部材内の超音波伝播速度の分布状況を示す。図中の色分 けは凡例に示すグラデーションで,色が濃くなると高い 値を表している。

どの供試体においても,超音波伝播速度の変動係数は 非常に小さく,H38に比べてB34の変動係数が小さくな っている。また,標準偏差が小さいことによりt検定で 求めるt値が大きくなり,t値を変換したp値が小さくな ることから,3体の供試体の超音波伝播速度の全体の平 均値の差は僅かであるが,t検定においてH38-1.2とB34-3.6の供試体で有意な差があると判定されている。また, 部材内部の分布に関して,H38-1.2では上下および左右 において有意な差があると判定されており,図-4におい ても左側の下部の色が濃くなっている。一方,t検定のp



図-5 テストハンマー強度と超音波伝播速度の関係

値から, B34-1.2 では上下および左右において有意な差が 無く, B34-3.6 でも上下において有意な差がないとなって いる。B34-3.6 の左右に関しては有意な差がある判定とな っているが, 超音波伝播速度の観点からは, スランプ 12cm のコンクリートに比べて締固めを必要とする高流 動コンクリートは均一性が高く, また, 自由落下高さの 違いの影響はほとんどないと考えられる。

図-5 はテストハンマー強度と超音波伝播速度の関係 を示す。コンクリートの圧縮強度と超音波伝播速度の間 に水セメント比と細骨材率が同じ場合に相関関係がある ことが報告されている⁴⁾。しかし、本実験で得られたテ ストハンマー強度と超音波伝播速度との間の関係おいて には相関係数は高くない。B34 においては超音波伝播速

供試体		H38	3-1.2			B34	-1.2		B34-3.6			
	全体	上下	左	右	全体	上下	左	右	全体	上下	左	右
平均值 log10(kr)	-17.90	-17.62 -18.18	-17.96	-17.83	-17.94	-17.93 -17.94	-17.86	-18.02	-17.75	-17.62 -17.90	-17.78	-17.72
$kT \over (x10^{-16}m^2)$	0.0127	0.0241 0.0067	0.0109	0.0147	0.0115	0.0119 0.0114	0.0139	0.0096	0.0176	0.0240 0.0126	0.0167	0.0193
標準偏差	0.396	0.270 0.290	0.459	0.366	0.196	0.222 0.175	0.192	0.164	0.221	0.125 0.215	0.202	0.219
変動係数 (%)	91.3	62.2 66.7	105.6	84.3	45.2	51.0 40.2	44.1	37.8	50.9	28.8 49.5	45.6	50.5
t 検定 p 値		7.8×10 ⁻⁶	0.362		0.613	0.723	0.0117		0.091 [0.001]	0.0002	0.3	377

表-5 log10(kT)の平均値と標準偏差および透気係数の変動係数

H38-1.2 B34-1.2 B34-3.6 -17.44 -17.35 -17.04 -17.38 -17.35 -17.77 -17.55 -17.77 -17.92 -18.05 19.00 -17.68 -17.77 -17.57 -17.41 -17.68 18.50 -17.85 -17.49 -17.74 -17.85 -17.55 -17.80 -17.92 -17.72 -17.92 -18.10 -17.60 -17.70 -17.47 -17.54 -17.51 18.00 -17.96 -17.96 -17.70 -17.80 -17.80 -17.80 -17.80 -18.22 -18.15 -18.40 -17.68 -17.80 -17.74 -17.72 -17.43 17.50 -17.77 -18.24 -18.10 -18.15 -18.10 -18.11 -18.41 -18.21 -18.11 -17.74 -17.59 -18.22 -17.77 -17.52 -18.00 -17.00 -18.05 -17.77 -17.92 -18.00 -18.00 -18.14 -18.14 -18.60 -18.16 -17.80 -18.22 -17.70 -17.85 -17.74 -17.89 -18.92 -18.14 -18.11 -18.07 -18.00 -17.85 -17.55 -17.85 -17.92 -18.00 -18.00 -17.82 -17.82 -18.05 -18.15

図-6 Log10(kT)の分布状況

度の部材内での変動の範囲が小さく,超音波伝播速度は テストハンマー強度に依存せず,約4600~4800m/sの範 囲で分布している。この原因については今後検討が必要 であるが,自由落下高さが異なる B34-1.2 と B34-3.6 の プロットは図-5 において同じように分布している。

3.3 透気係数

表-5 は透気係数の常用対数を取った値(以下, Log10(k7)と表す)の平均値,標準偏差,透気係数の変動係 数および t 検定の p 値の一覧を示す。また,図-6 は Log10(k7)の分布性状を示す。コンクリートの透気係数は コンクリート部材内で正規分布しないが,対数を取るこ とによって正規分布(対数正規分布)することが既に報告 されている ⁵。さらに,施工状況においては部材全体で は対数正規分布しないことも明らかとなっている ⁵。そ こで本研究では各供試体の 30 点が対数正規分布してい るかどうかを,正規確率プロットとシャピロ・ウィルク 検定により確認した。正規確率グラフは図示しないが, 有意水準を 5%としたシャピロ・ウィルク検定結果のp値 は以下のとおりである。

H38-1.2:0.606, B34-1.2:0.739, B34-3.6:0.177 全ての供試体で Log10(kr)は正規分布していることから, 突出したバラつきの原因が無く,自然な偶然によるバラ つきをしているといえる。なお,テストハンマー強度お よび超音波伝播速度に関してもシャピロ・ウィルク検定 を実施し,正規分布していることを確認している。

従って, 透気係数が対数正規分布していることから, **表-5**の変動係数(*CV*_x)は対数をとった透気係数の標準 偏差(*σ*_y)から次式を用いて算出した⁵。

 $CV_x \coloneqq ln(10)\sigma_v$

(4)

本研究で用いたコンクリートの全体の透気係数の平 均値は0.0115~0.0176 (×10⁻¹⁶m²) であり, Torrent らの提 案する透気性グレードで very good に近い good であるの。 また、既往の研究においてコンクリートの透気係数の変 動係数は 50%~150%であることが報告されているが, B34-1.2 および B34-3.6 の変動係数は約 50%で、コンクリ ートの透気係数としてはバラツキが小さく,均一性が高 いといえる。さらに, B34-1.2 と B34-3.6 の供試体全体の Log10(kr)の平均値と変動係数はほぼ同じであることから、 自由落下高さの違いの影響は小さいと考えられる。ただ し、B34-3.6 では上下において有意な差があり、下部の透 気係数が小さく、上部より下部が密実なコンクリートと なっている。この有意差があるということは上述したよ うに標準偏差が小さいことによるものである。すなわち, 表-5 に示すように、H38-1.2 と B34-1.2 の左右の Log10(kT)の平均値の差はほぼ同じであるが、標準偏差が 小さい B34-1.2 においては、t 検定において左右で有意な



図-7 Log10(kr)の高さ方向の分布

差があるとなっている。従って, B34-3.6の上下での有意 差は B34-1.2の左右で生じたバラつきと同じバラツキで あるとも考えられる。

図-7 は供試体内の高さ方向に関する Logio(kr)の分布 を示す。図の値はそれぞれの高さで測定された5箇所の 平均値である。H38-1.2 および B34-3.6 は供試体下縁から 高くなるにつれて Logio(kr)が大きくなっており,部材内 の下になるほど密実なコンクリートとなっている。この 分布傾向は一般的であると考えられ,締固めを必要とす る高流動コンクリートでは上下方向における分離を抑制 していると思われる。しかしながら,B34-1.2 と B34-3.6 の分布傾向は異なっており,図-7 に示す Logio(kr)の高 さ方向の分布傾向は,表-3 に示したコア強度の傾向と 対応している。従って,B34-1.2 の分布傾向が締固めを必 要とする高流動コンクリート特有のものであるかを今後 明らかにした上で,自由落下高さが物性値の分布傾向に 及ぼす影響について検討する必要がある。

4. まとめ

本研究はプレキャスト桁部材の製造を想定して,自由 落下高さを変化させて製造したコンクリート壁部材にお いて,テストハンマー強度,超音波伝播速度および透気 係数の壁部材内での分布性状を用いて,締固めを必要と する高流動コンクリートの均一性と自由落下高さの違い の影響について検討した。本研究の範囲で得られたこと をまとめると以下のとおりである。

- (1) テストハンマー強度の部材内の分布に関して、スラ ンプ 12cm のコンクリートおよび締固めを必要とす る高流動コンクリートとも均一性は同程度であり、 締固めを必要とするコンクリートにおいては自由落 下高さの影響は認められなかった。
- (2) 超音波伝播速度の部材内の分布に関して、スランプ 12cmのコンクリートでは上下および左右で有意な差 があったが、締固めを必要とする高流動コンクリー トでは有意な差が無く均一性が高いことが明らかと

なった。また,自由落下高さを高くすることにより, 左右で有意な差があったが,上下方向では有意な差 が無かった。

(3) 透気係数の部材内の分布に関して、スランプ12cmの コンクリートでは上下で有意な差があったが、締固 めを必要とするコンクリートでは上下で有意な差 がなく均一性が高く、また、自由落下高さの違いに 因らず、透気係数の平均値と変動係数はほぼ同じで あった。

非破壊試験の測定値の統計処理した結果からは, 締固 めを必要とする高流動コンクリートは均一性が高く, 変 動係数の観点から自由落下高さの影響が少ないことが明 らかとなったが, 高流動コンクリートとの比較を行うな ど, さらにデータを蓄積する必要がある。

謝辞

供試体の作製などではキョクトウ高宮㈱工場の方々, データの計測および整理には愛媛大学工学部学部生の中 谷勇太君の協力を得ました。ここに謹んで謝意を表し, 厚くお礼申し上げます。

参考文献

- コンクリート標準示方書改訂小委員会:2017年制定 コンクリート標準示方書[施工編][設計編],土木学 会,2018.3.
- 2) 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会:締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究委員会(358委員会)委員会報告書,土木学会,コンクリート技術シリーズ No.123, 2020.5
- 渡邊聡,中根博,川幡栄治,河上浩司:高強度コン クリートへのリバウンドハンマーの適用と強度推 定式の提案,コンクリート工学年次論文集,Vol.26, No.1, pp.1827-1832, 2004.7
- 4) 松土雄紀,小俣貴洋,満木泰郎,溝渕利明:超音波 を用いたコンクリートの力学的特性の推定に関す る一考察,コンクリート工学年次論文集,Vol.32, No.1, pp.1721-1726, 2010
- 5) 山川莉希,氏家勲,河合慶有,山田純平:コンクリ ート面部材における透気係数の分布性状に関する 検討,コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1510-1515, 2020
- R. J. Torrent and G. Frenzer : "A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the covercrete", Proceedings of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp. 985-992, 1995.