

構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入と検証

1. 材料施工

耐用年数 再生骨材 長期材齢

準会員 ○ 針原光成^{*1}

正会員 田村雅紀^{*2}

1. はじめに

コンクリート構造物の維持保全について、老朽化についての認識不足や人材、財源の不足、マニュアルの不備等による点検や耐震調査の不徹底が問題になっている。この問題に対応するためにはコンクリート構造物の品質保証技術や耐用年数を確立する必要があると考える。ここでいう品質保証とは作り手が構造体コンクリートを管理し使い手に性能とその信頼性を高める活動を保証するものであり、安全性や保全性等信頼性への配慮が求められる¹⁾。現在行われている品質管理では、構造物の使用が開始した後の長期的な品質には対応できない。2000年には住宅の品質確保の促進等に関する法律が施行されたが、既存構造物への品質保証を含めるとそれでもまだ不十分であり、建築物の使用開始後からの品質を製造者が保証できるかが重要である。実際に、都市部や幹線交通網における鉄筋コンクリートの老朽化は社会的に大きな問題になっており、老朽化による事故も起きている。東日本大震災に伴う復興においても、建築物の品質を明確にすることは重要である。

本研究では既存構造物の品質を維持管理するためにはまず建築物の使用可能な年数、つまり物理的耐用年数を明確に示すべきである。さらに構造物に要求される性能の水準を下回らず、一定期間の保証を持続できるかという使用者の立場に立脚した考えが重視され、建築物の物理的耐用年数の根拠となるコンクリート部材の長期的な品質保証を実施するため供用前段階から(研究3)中長期の供用を想定した段階(研究1,2)において技術的調査を検討した。

2. 建築物の維持保全について

建築物の性能は図1のように時間の経過とともに低下する²⁾。維持保全を行わない場合、初期性能を高くすることで建物の耐用年数を長くすることができる。適切な維持保全を行う場合、建築物の初期性能が建物の耐用年数に与える影響は少なく済む。維持保全とは、建物の性能

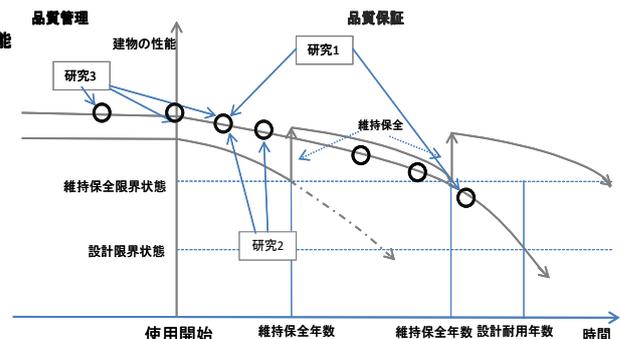
研究1:100年養生コンクリート材齢1年目
研究2:再生骨材コンクリート長期材齢
研究3:プレウェッジングが再生骨材を使用したコンクリートに与える影響について

再生骨材コンクリートの品質保証の検証

・製造時:製造段階の性能(材料の品質、施工精度、方法)

・完成時:初期性能

・使用時:使用時性能



研究内容図1

表1 使用材料

研究	区分	記号	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率 (%)
1	混合砕石	MG	2.64	2.65	0.57	60.6	6.62
	砂岩砕石 (桧原村)	MG1	2.64	2.65	0.60	60.8	6.66
	砂岩砕石(成木)	MG2	2.64	2.66	0.54	60.5	6.59
	混合砂	MS	2.59	1.58	1.58	---	2.66
	石灰砕砂(横瀬町)	MS1	2.62	2.65	1.12	---	2.90
	陸砂(成田)	MS2	2.53	2.61	3.20	---	1.64
	砂岩砕砂(桧原村)	MS3	2.60	2.64	1.23	---	2.96
2	硬質砂岩砕石(青梅)	G	2.67	2.68	0.47	59.9	6.60
	再生骨材 H	H	2.59	2.62	1.25	61.6	6.60
	再生骨材 M	M	2.58	2.64	2.10	61.7	6.54
	細骨材(混合)	S	2.58	2.61	2.62	---	2.58
	陸砂(君津)	S1	2.57	2.61	1.69	---	2.58
3	山砂(児玉)	S2	2.53	2.59	2.13	---	2.74
	硬質砂岩砕石	N	2.64	2.65	0.64	62	6.41
	再生骨材	RHB	2.59	2.62	1.25	61.4	7.12
	再生骨材	RMA	2.51	2.56	2.12	62.7	-
共通	陸砂(大井川)	RS	2.52	2.57	2.04	38.0	2.62
	セメント	C	---	3.16	---	---	---

備考)研究1:MG=MG1:MG2=1:1 MS=MS1:MS2:MS3=4:2:4 研究2:再生骨材 H, M(加熱すりもみ) 一部にフライアッシュ使用(C:F=1:1) S=S1:S2=1:1 研究3:再生骨材 RHB(加熱すりもみ)再生骨材 RMA(スクルー研磨) 研究2,3:AE剤(AE),空気量調整剤(AE2)を使用 研究1,2,3:セメント:普通ポルトランドセメント

表2 実験要因と水準

研究	要因	水準
研究1	養生方法	屋外、気乾、封かん養生
	材齢	材齢1,3,6,9か月、1年3年5年以降5年おき、100年まで
研究2	骨材種類	砕石(G)、再生骨材(H)、再生骨材(M)、再生骨材(H+FA)
	養生方法	乾燥、標準、湿潤
研究3	材齢	材齢4,13,26,52,78,130週 現在52週まで
	骨材種類	砕石(N)、再生骨材(RHB)、再生骨材(RMA)
	骨材状態	プレウェッジング(w)、ドライ(d)、塩水(s)、プレウェッジング有無
	養生方法	封かん養生
	材齢	7日、28日、91日

備考)W/C=50%一定(研究1,2,3) 湿潤とはコンクリートが湿気・降雨・浸水等による保水耐力を想定し乾燥養生した試験体を試験48時間前に水中養生することをさす

の低下を補うもので、初期性能を超えることはない。また、建物の性能が維持保全限界状態を超えると維持保全を行うことは材料的にも経済的にも難しい。本研究では、実施工された普通コンクリートに加え、今後の環境配慮型の傾向も踏まえ、再生骨材コンクリートを対象とした品質保証技術の導入と検証を行うこととする。

3. 研究概要

3.1 100年養生コンクリート材齢1年目(研究1)

3.1.1 実験概要

工学院大学新総合教育棟構造部に使用されたコンクリートを生コン業者から購入し、簡易型枠(10φ×20H)を使い円柱供試体を216本作成し、封かん、気乾養生、屋外暴露する。圧縮強度とヤング係数を測定する。封かん養生は建物の室内側、気乾養生は建物の外気に触れない壁の内部、屋外暴露は建物の外側を想定する。材齢100年を目標に長期的な強度変化を検証する。

3.1.2 使用材料

細骨材は砕砂(横瀬町産)、陸砂(成田産)、砕砂(松原産)の3種類の混合砂である。粗骨材は砕石(松原村産)と砕石(青梅産)を混合して使用した。表1に使用材料を、表4にコンクリートの調合を示す。呼び強度33N/mm²、スランプ18cm、水セメント比50.1%、細骨材率49.2%で調合されている。

3.1.3 試験方法

表3に試験内容を示す。屋外暴露、気乾養生については打設後64日で脱型し、屋外暴露については地上2階建てビルの屋上に暴露し、気乾養生については室内にて養生した。封緘養生するものは脱型せず上部をポリエチレンフィルムで密封した。強度試験は材齢1年までは3カ月おきに、その後は材齢3年、5年で1年以降5年おきに実施する。

3.1.4 試験結果

図2a)に密度の変化を示す。b)に圧縮試験結果を示す。c)に引張強度試験結果を示す。気乾養生の圧縮強度は材齢91日以降強度が増進しない。気乾養生の密度は低下している。28日強度は設計基準強度33N/mm²を超えているが、気乾養生により評価値が下がることが確認された。実際のコンクリート構造物では屋上や南側外壁など気乾養生に近い状態になる部分もあることから建物全体で安全評価をする意味ではこの評価への配慮が重要となる。

表3 試験内容(研究1, 2, 3)

区分	試験項目	準拠規格	研究1					研究2					研究3
			28日	91日以降	7日	28日	91日	180日, 365日					
			水中	封緘	屋外	気乾	封緘	水中	水中	水中	乾燥	水中	
力学特性	圧縮強度	JIS A 1108	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	引張強度	JIS A 1113	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	静弾性係数	JIS A 1149	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101		○						○			○
	スランプ経時変化(0, 30, 60, 90分)			-						-			○
	空気量	JIS A 1128		○						○			○
	空気量経時変化(0, 30, 60, 90分)			-						-			○
	温度			○						○			○
耐久性	凝結	JIS A 1147		-						-			○
	ブリージング	JIS A 1123		-						-			○
	長さ変化	JIS A 1129		-						-			○

表4 コンクリート調合(研究1, 2, 3)

研究	骨材	単位量(kg/m ³)											
		w/c	s/a	W	C	FA	S1	S2	S3	G1	G2	AE	AE2
1	MG	50	49.2	173	345	-	350	175	349	455	455	3.45	-
	H	50	43.2	170	340	-	385	381	-	1006	-	-	-
	H+FA	50	41.3	170	340	51	356	352	-	1006	-	-	-
	M	50	42.4	170	340	-	377	373	-	1030	-	-	-
2	G	50	43.2	170	340	-	385	381	-	1029	-	-	-
	Nw	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1018	-	5520	14
	Nd	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1014	-	5520	14
	RMaw	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
3	RMAd	50	41.2	184	368	-	694	-	-	964	-	5520	14
	RMAc	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
	RMAb	50	41.2	184	368	-	694	-	-	984	-	5520	14
	RHB	50	41.2	184	368	-	694	-	-	1007	-	5520	-

表5 100年養生コンクリート材齢1年目の実験様子(研究1)

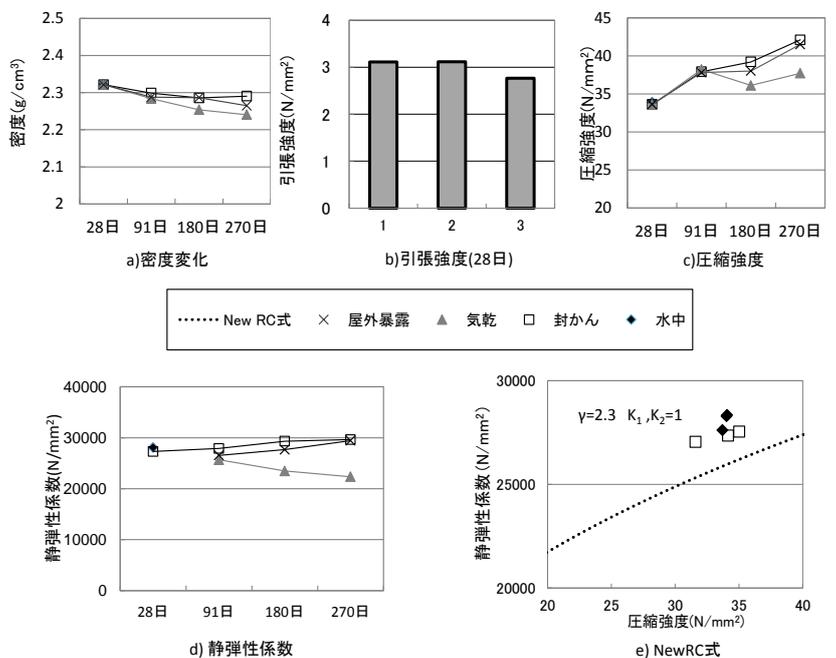


図2 100年養生コンクリート試験結果(研究1)

3.2 再生骨材を使用したコンクリートの長期材齢特性(研究2)

3.2.1 実験概要

長期材齢において、再生骨材を使用したコンクリートはどのような特性を持つか、養生の違いが強度にどのような影響を及ぼすかを検証する。表2に実験要因と水準を示す。乾燥、湿潤など養生方法の違いは、建築物を取り巻く環境の変化、例えば降雨などを想定しているためである。

3.2.2 使用材料

使用材料を表1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを3社混合で使用。細骨材は君津産の陸砂と児玉産の山砂の混合砂である。粗骨材は再生骨材Hと再生骨材M、青梅産硬質砂岩砕石を使用した。コンクリート調合を表3に示す。W/C50%一定、スランブ18cm 空気量4.5%を目標とし調合を実施した³⁾。

3.2.3 試験結果

圧縮強度試験、引張強度試験は52週まで実施した。試験結果は図5に示す。引張強度は、標準養生では26週まで伸びる傾向にあるが、その後低下している。乾燥養生ではH以外は13週から強度が低下し、Hも26週で強度が低下している。湿潤養生は4週からほぼ強度は伸びず、52週では完全に低下している。圧縮強度試験はJIS A 1108を参照した。試験は52週までの結果を示す。再生骨材H+FAが一番強度が高く、標準養生は強度が伸びる傾向にあるが、気乾養生、湿潤養生では、低下する傾向にある。また、再生骨材Mと青梅砕石のグラフの変化は似た傾向にある。再生骨材H+FAは、セメントにフライアッシュ混合させたことで、ポゾラン反応により長期的に強度が伸びたと考えられる。

表4により、水セメント比は一定の調合であるが、普通骨材よりも再生骨材を使用したコンクリートの強度が大きい傾向にある。再生骨材と普通骨材では、一般に普通骨材の方が高品質であるが再生骨材の原骨材は良質な天然砂利であるため、吸水や密度の影響を受けず再生骨材を使用したコンクリートの強度が普通骨材を使用したコンクリートの強度を上回ったと考える。

再生骨材を使用したコンクリートでも、気乾養生と湿潤養生では湿潤養生の強度が小さくなるのが分かった。

3.3 プレウェッジングが再生骨材を使用したコンクリートに与える影響について(研究3)

3.3.1 実験概要

JIS A 5012(再生骨材H)、JIS A 5022(再生骨

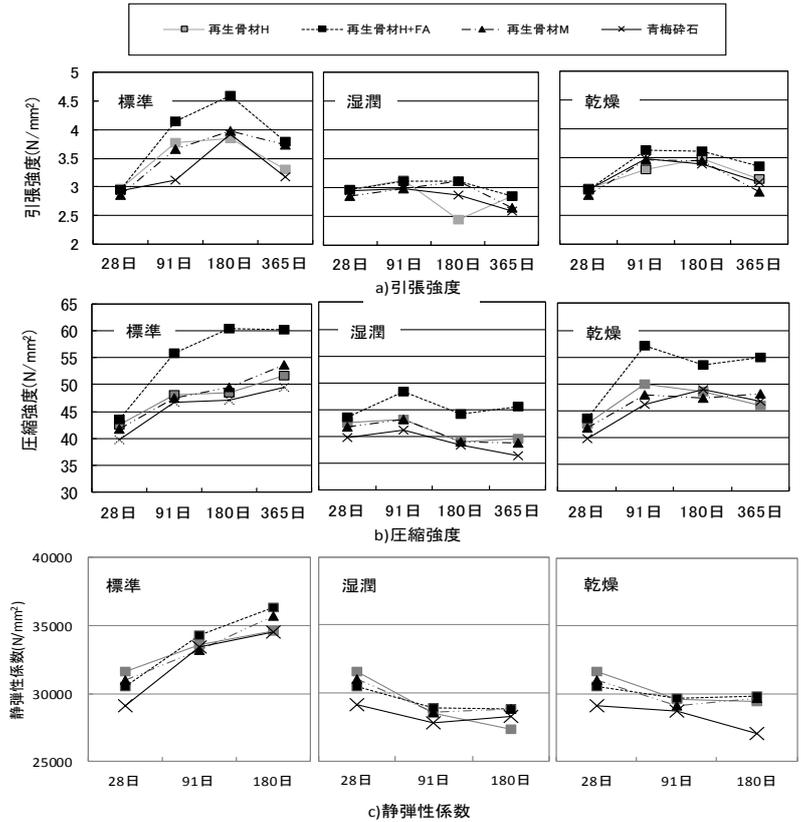


図3 再生骨材コンクリート長期材齢試験結果(研究2)

材M)、JIS A 5023(再生骨材L)によると、再生骨は使用前日までにプレウェッジングを終え、余剰水は水切りをして、使用時には表面水率が安定した状態にするよう定められている。またリサイクル材料の多様化などにより、コンクリートに様々な副産物が混入する事が予期される。本実験では、プレウェッジングの有無がコンクリートに影響を与えるかについて検証し、プレウェッジングの際に塩水混和がさせた場合塩水がコンクリートの危険因子に成りうるか、フレッシュコンクリートの性質、打設3ヶ月までの強度、ヤング係数、長さ変化を報告する⁴⁾。

3.3.2 使用材料

表1に使用材料、表4に調合を示す。細骨材は砕砂、粗骨材は再生骨材RHB, RMAを使用し、再生骨材RHB, RMAはそれぞれ高品質の再生骨材であり2つを比べるとRHBの品質が高い。

3.3.3 試験内容

試験内容を表3に示す。フレッシュ性状と力学特性についてJISに準拠し、試験を行う。長さ変化試験はダイヤルゲージ方法を採用した。

3.3.4 試験結果

(1)スランブ・空気量の経時変化

スランブプロスの結果を図4aに、空気量ロスの結果を図6bに示す。スランブプロスは時間とともに低下する傾向にあることがわかる。再生骨材は実積率が普通骨材より高く、スランブも高くなっている。空気量ロスは、再生骨材において一度空気量が低下した後、増加する結果が出た。

(2)凝結試験

凝結試験の結果を図4cに示す。Nwが一番早く反応が始まり、終点までの時間も短かった。再生骨材RMAでは、終点までの時間はRMAwが一番遅

く、RMA s が一番早かった。RMA s は塩水混和がセメントの反応を促進し、凝結が速くなったと考えられる。

(3) ブリージング試験

ブリージング量を図 6d) に示す。ブリージング量は、RHB が多く RMA d が少ない。RMA d, Nd は乾燥した骨材を使用したためコンクリート中の水分量が減少しブリージング量が低下した。

(4) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図 5a) に、NewRC 式を図 5b) に示す。圧縮強度は Nd が大きい。これは絶乾状態の骨材を使用したため水セメント比が下がったためと考えられる。プレウェッジングの際塩水混和した RMA s については、7 日強度 28 日強度共に低く NewRC 式を見ると圧縮に対してヤング係数が一般的な値より大きくなった。

(5) 長さ変化試験

Nw, RMAw, RMA d, RMA s について、長さ変化試験を行った。図 6 が試験結果である。グラフの点線は長さ変化の予測式である。Nw シリーズの長さ変化率が高いことが分かる。水分分散量をみると、Nw は水分が失われにくく、RMAw は水分が失われやすいことが分かる。プレウェッジングの有無により骨材から出入りする水の影響でモルタル部分の空隙構造に影響があることが想定され、乾燥収縮に影響しない空隙の分布が相違する事が考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 研究 1 より、物理的耐用年数の検証のため中長期供用を想定した 100 年間養生する供試体を実際に作成し、初期のデータを分析できた。
- 2) 研究 2 より、中長期供用を想定した再生骨材を使用したコンクリートの骨材種類と含水率の違いによる力学特性が検証できた。
- 3) 研究 3 より、供用前の品質管理段階のコンクリートの性能低下要因を踏まえた力学特性、耐久性について検討した。
- 4) コンクリート供用前から後にかけての中長期的なコンクリートの性能評価により、構造体コンクリートの物理的耐用年数に関する品質保証技術の導入に向けた品質保証技術指標(研究 1,2,3)による評価ができた。

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社フローリック 研究所関係各位、工学院大学新総合棟教育施設担当各位、大成建設東京支店・原史彦氏らに多大なご協力と、貴重な助言を受けた。また、本研究の一部は、工学院大学 UDM・PJ 研究、H24 年度科

研費(若手 A:23680681)による。本研究の一部は株式会社フローリックとの共同研究である。

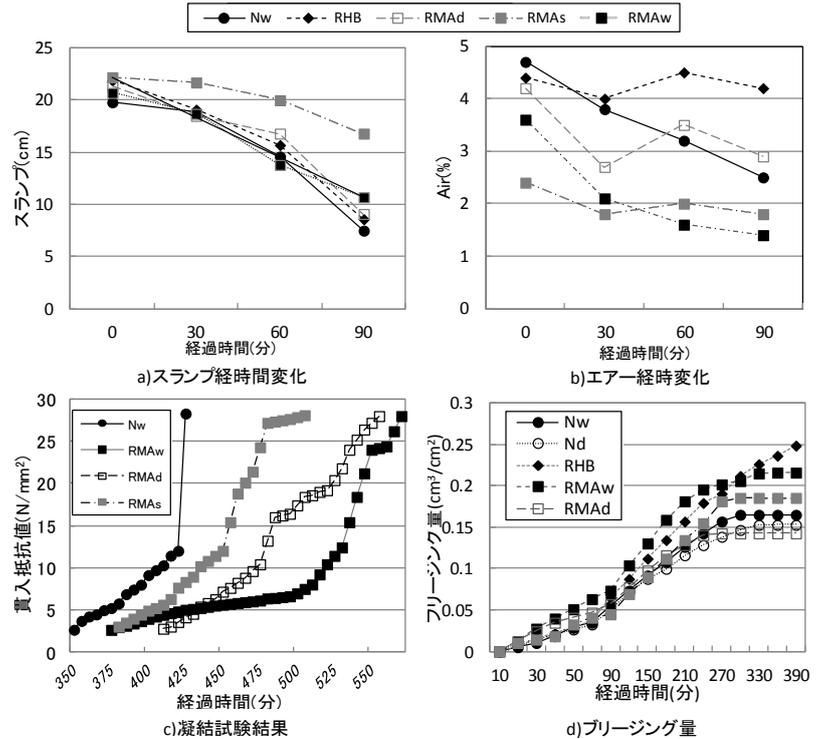


図 4 プレウェッジングの有無がフレッシュ性状に及ぼす影響(研究 3)

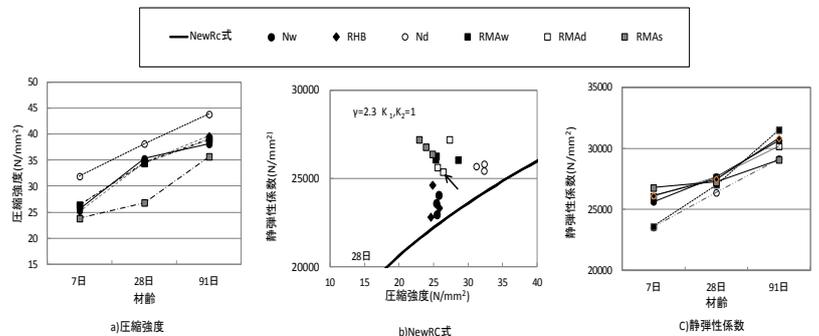


図 5 圧縮強度試験, 静弾性係数(研究 3)

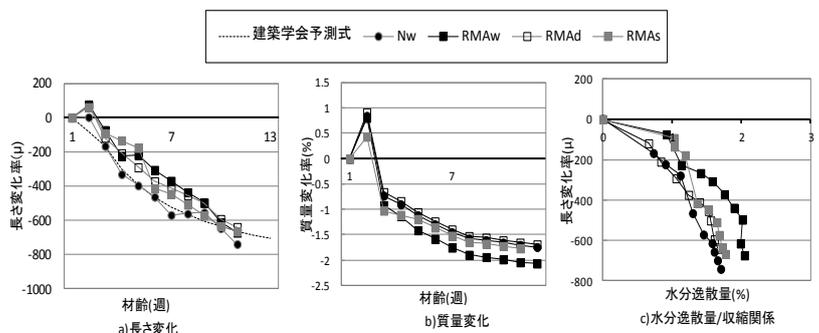


図 6 長さ変化試験結果(研究 3)

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会: 微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査委員会研究会報告書, pp. 11-14, 2012
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造物の耐久設計施行指針(案)・同解説, 2004
- 3) 須藤剛: 工学院大学卒業研究論文梗概集, pp. 601-604, 再生骨材コンクリート M のモルタル量が影響する長期材齢特性, 2011
- 4) 竹田宣典: 大林組技術研究所報 No. 75, 海練り・海砂コンクリート(人工岩塩層)の開発, 2011

*1 工学院大学工学部建築学科 4 年

*2 工学院大学建築学部建築学科・准教授・博士(工学)