

論文 建設発生土を細骨材として用いたコンクリートの諸物性

藤木 昭宏^{*1}・田澤 榮一^{*2}・田辺 靖彦^{*3}・吉浪 康行^{*4}

要旨：中国地方では、瀬戸内海の生態系や環境保全の観点から、平成 18 年にはすべての海域において海砂採取の禁止が実施される予定であり、海砂に代わるコンクリート用細骨材の確保が課題である。本研究では、公共事業で大量に発生する建設発生土を細骨材として利用することを目的に、試料採取、土質試験、細骨材への加工、骨材試験およびコンクリート試験を行った。土質試験からもとまる自然含水比、強熱減量の二つの指標から、コンクリート用細骨材として使用する発生土の品質をランク A~D に分類し、発生土の品質とコンクリートの品質との関係から、各発生土のコンクリートへの適用の可能性について考察を行った。

キーワード：建設発生土, 加工砂, フレッシュコンクリート, 硬化コンクリート

1. はじめに

大量生産、大量廃棄の社会生活が進む中で、天然資源の枯渇や地球温暖化による地球規模での環境破壊が深刻な問題となっている。このため、循環型社会の構築を進めていくためにも資源の有効活用、廃棄物の有効利用等を推進し、環境負荷低減を図ることが重要な課題となっている。中国地方では、瀬戸内海の生態系や環境保全の観点から、平成 18 年にはすべての海域において海砂採取の禁止が実施される予定であることから、海砂に代わるコンクリート用細骨材

の確保が課題である。本研究では、中国地方において公共事業で大量に発生する建設発生土をコンクリート用細骨材として有効利用することを目的として、試料採取、土質試験、骨材への加工、骨材試験およびコンクリート試験を行い、建設発生土の品質から見たコンクリートへの適用性について考察を行った。

2. 細骨材への加工

中国地方の建設現場 15 箇所から発生土 35 試料を採取し、土質試験を行った。この結果と現

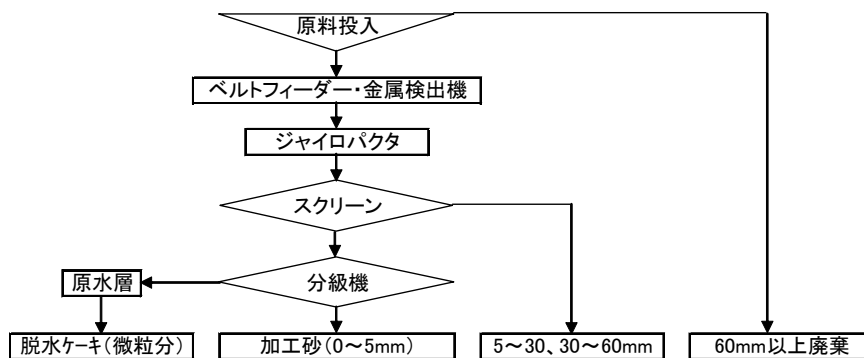


図-1 細骨材製造フロー

*1 建設発生土リサイクルコンクリート検討委員会 工修 (正会員)

*2 建設発生土リサイクルコンクリート検討委員会 広島大学名誉教授 工博 (正会員)

*3 国土交通省中国地方整備局中国技術事務所

*4 復建調査設計(株) 工博

表－1 土質試験および細骨材試験結果

試験項目		建設現場						JIS規格	
		a	b	c	d	e	f		
土質試験	土質区分	第1種 {G}	第1種 {G}	第2b種 {SF}	第1種 {G}	第2a種 {GF}	第2a種 {GF}		
	岩種	広島型花崗岩	流紋岩質凝灰岩	凝灰岩	閃緑岩	角礫凝灰岩	安山岩		
	岩級区分	CL~CM	GL	D	CL	D	D		
	自然含水比 (%)	2.9	5.7	10.8	16.7	18.4	22.1		
	粒度構成	礫分 (%)	66	49	26	68	18.4		32
		砂分 (%)	27	38	58	24	37		29
		細粒 (%)	7	13	16	8	31		39
	コーン指数	貫入不可	貫入不可	貫入不可	貫入不可	32	1532		
	乾燥密度 (g/cm ³)	1.88	1.80	1.64	1.64	1.72	1.53		
	強熱減量 (%)	1.3	2.0	4.4	5.1	4.7	6.6		
細骨材試験	表乾密度 (g/cm ³)	2.54	2.50	2.50	2.39	2.45	2.43	-	
	絶乾密度 (g/cm ³)	2.50	2.41	2.40	2.21	2.31	2.28	2.5以上	
	吸水率 (%)	1.80	3.86	4.10	7.92	6.11	6.62	3.5以下	
	微粒分量 (%)	1.3	3.2	5.1	6.1	7.6	9.6	3.0以下	
	粒形安定実績率 (%)	56.0	56.0	-	55.7	-	-	53以上	
	安定性 (%)	4.8	7.0	-	19.7	-	-	10以下	
	アルカリ骨材反応	無害	無害	-	無害	-	-	-	
建設発生土ランク		A	B	C	D	D	D	-	

地の施工状況等を考慮し、コンクリート細骨材への利用が可能な現場をa～fの6箇所に絞り込んだ。この6箇所から再度各20t程度の試料を採取し、詳細な土質試験を行うとともに、図-1に示す湿式砕砂設備により細骨材への加工を行った。この際、ふるい分けなどの工程の選定には実用性を考慮した。この工程で製造した細骨材について、密度および吸水率試験 (JIS A 1109)、微粒分量試験 (JIS A 1103) を行った。土質試験および細骨材試験結果を表-1に示す。この結果を検討し、強熱減量と自然含水比双方の関係から、図-2に示すとおり建設発生土を分類し、A～D にランク付けした。このうち建設現場 a (ランク A)、現場 b (ランク B)、現場 d (ランク D) の3種類の細骨材について、粒形判定実績率試験 (JIS A 5005)、硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験 (JIS A 1122)、骨材のアルカリシリカ反応性試験 (JIS A 5308) を行い、その後コンクリート試験を行った。

3. 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を表-2に、コンクリートの配合条件および示方配合を表-3、表-4に示す。示方配合は、ワーカビリティによる目視判断により、最適細骨材率および単位水量を決定した。各配合における単位水量を図-3、細骨材率を図-4に示す。なお、単位水量および細骨

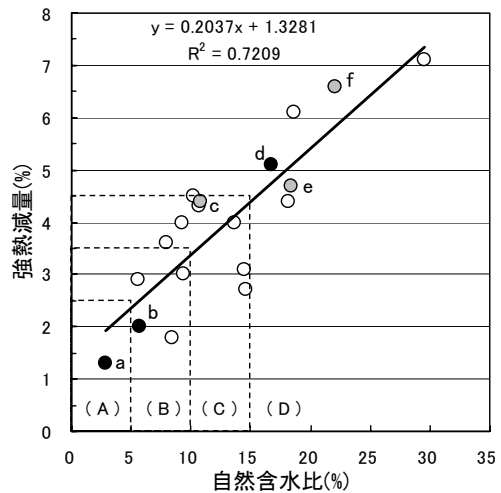


図-2 建設発生土分類

表-2 使用材料

材料	種類	物性値
セメント	高炉セメントB種 太平洋セメント(株)	密度3.04g/cm ³
細骨材	建設発生土加工砂	表-1参照
粗骨材	砕石4020	広島市内 表乾密度2.70g/cm ³ 表乾密度2.72g/cm ³ 表乾密度2.72g/cm ³
	砕石2010	
	砕石1005	
水	上水道水	-
混和剤	AE減水剤標準形 ポリスNo.70	-
	高性能AE減水剤標準形 レオビルドSP8SB	-
	AE剤	-
	マイコロI7202	-

表-3 コンクリートの配合条件

水セメント比	45%, 52.5%, 60%
単位水量	165kg/m ³ 以下
目標スランプ値	8±2.5cm
目標空気量	4.5±1.5%
粗骨材最大寸法	40mm

表-4 コンクリートの示方配合

W/C (%)	細骨材 ランク	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								
			セメント	水	細骨材	粗骨材			混和剤		
						4020	2010	1005	AE減水剤	高性能 AE減水剤	AE剤
60	A	45.0	253	152	823	535	324	215	0.633	-	0.0127
	B	38.5	267	160	680	589	356	234	0.668	-	0.0134
	D	38.5	267	160	650	589	356	234	-	1.896	0.0120
52.5	A	43.5	286	150	785	543	329	218	0.715	-	0.0143
	B	37.0	301	158	645	594	359	239	0.753	-	0.0211
	D	37.0	301	158	617	594	359	239	-	1.957	0.0181
45	A	42.0	333	150	742	545	329	220	0.833	-	0.0167
	B	35.5	356	160	603	591	356	237	0.890	-	0.0320
	D	35.5	356	160	576	591	356	237	-	2.563	0.0214

材率は予め試し練りを行い、ランク A の発生土から製造した細骨材と比較すると、ランク B およびランク D の各配合は、単位水量が 8~10kg/m³ 多く、細骨材率が 6.5% 低くなった。また、AE 減水剤は発生土ランクの低下にともない使用量が多くなる傾向がみられ、ランク D については AE 減水剤を使用すると単位水量が上限値の 165kg/m³ を超えることから高性能 AE 減水剤を用いた。この際、単位水量および細骨材率はランク B と同一とした。

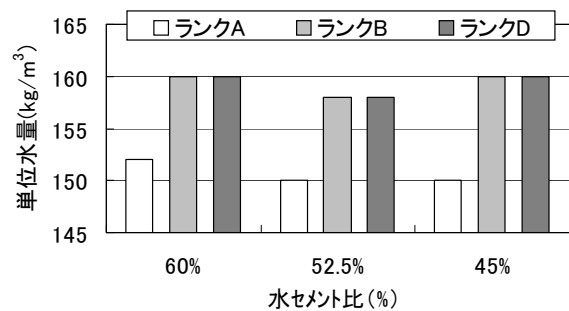


図-3 各配合の単位水量

4. フレッシュコンクリート

4.1 試験方法

フレッシュコンクリート試験として、スランブ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128)、ブリーディング試験 (JIS A 1123) および凝結試験 (JIS A 6204) を行った。スランブおよび空気量試験については、経時変化をみるため、練混ぜ後 90 分まで、30 分毎に測定を行った。

4.2 試験結果および考察

4.2.1 スランブ、空気量試験

図-5 にスランブの経時変化を示す。スランブロスが骨材ランクと直接関係なくランク B が最も小さく、次にランク A、ランク D の順となった。ランク D については、高性能 AE 減水剤を使用しているにもかかわらず、非常に大きなスランブロスが生じている。

図-6 に空気量の経時変化を示す。空気量はいずれも時間の経過とともに減少している。空

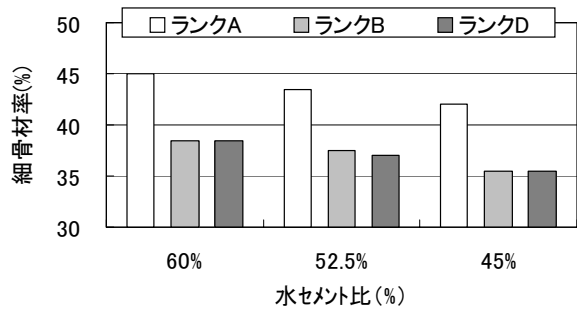


図-4 各配合の細骨材率

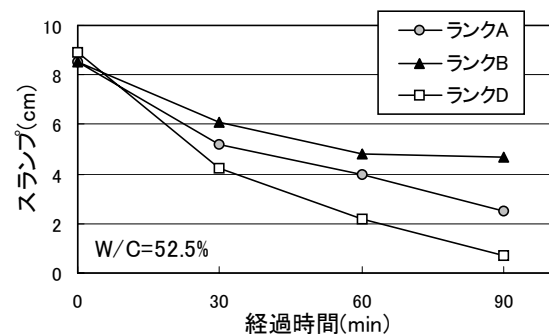


図-5 スランブの経時変化

気量のロスはランク D が最も大きく、次にランク B, ランク A の順となった。

4.2.2 ブリーディング試験

図-7 にブリーディング試験の結果を示す。いずれの水セメント比においても、細骨材中の微粒分の増加にともなって、ブリーディング量が減少する傾向が見られ、特に微粒分が多いランク D ではランク A の 1/4 程度と非常に少ない結果となった。

4.2.3 凝結試験

図-8 に凝結試験の結果を示す。いずれ細骨材を用いたコンクリートでも、水セメント比が小さくなるほど終結時間は早くなる傾向がある。また、細骨材の吸水率の増加に伴って、始発時間、終結時間もともに早くなる傾向がある。

5. 硬化コンクリート

5.1 試験方法

硬化コンクリート試験として、圧縮強度試験 (JIS A 1108), 静弾性係数試験 (JIS A 1149), 中性化試験, 凍結融解試験 (JIS A 6204, A 法), 乾燥収縮試験 (JIS A 1129) を行った。中性化試験については、促進試験と自然曝露試験を行った。促進試験は表-5 に示す方法を採用した¹⁾。また、自然曝露試験については、中国技術事務所構内にて 1 年間供試体を曝露した。

5.2 試験結果および考察

5.2.1 圧縮強度試験, 静弾性係数試験

図-9 に圧縮強度の経時変化を示す。いずれの水セメント比においても、ランク A, B, D の順に、圧縮強度は低下している。

図-10 にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。従来のコンクリートと同様にセメント水比と圧縮強度は高い相関性がある。したがって、細骨材の種類にかかわらず、コンクリートの水セメント比を下げることで所要の圧縮強度を確保できる可能性がある。

図-11 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。この図には、コンクリート標準示方書の普通コンクリートと軽量骨材コンクリートの値も

同時に示している。同一強度における静弾性係数は、ランク A は普通コンクリートと同等で最も大きく、続いてランク B, ランク D の順となった。コンクリートの静弾性係数は他の特性値と比べて構造物の安全性に及ぼす影響は小さいと考えられる²⁾。また、構造設計の際に実測値を使うことや、骨材置換率の選定や水セメント比の低減などにより静弾性係数低下への対処を

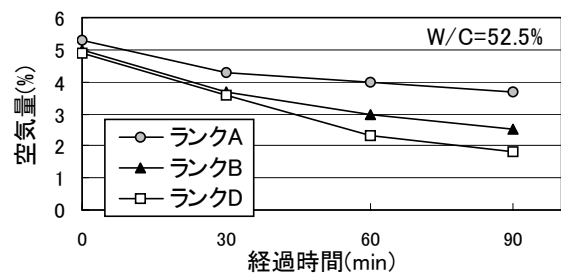


図-6 空気量の経時変化

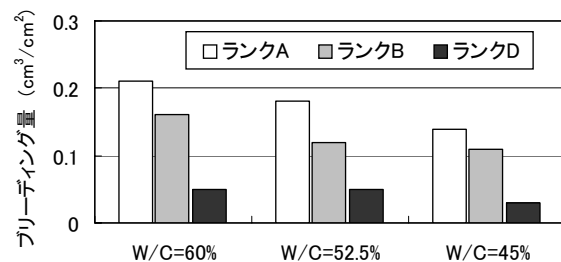


図-7 ブリーディング量

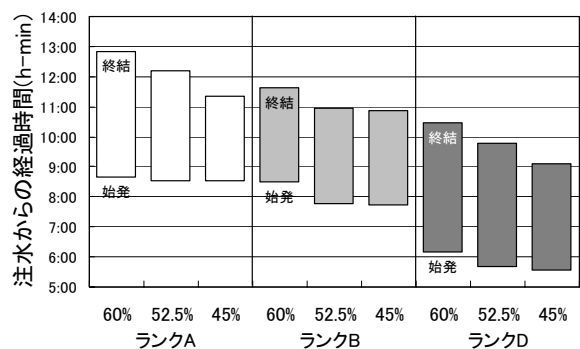


図-8 凝結試験結果

表-5 促進中性化試験の条件

前養生				促進中性化		
養生		乾燥		温度	湿度	CO ₂ 濃度
方法	期間	方法	期間			
20°C 水中	28日	20°C 60%RH	28日	30°C	60%RH	5%

行うことも可能である。

5.2.2 中性化試験

中性化試験の結果を図-12, 13に示す。促進試験においてランク D の W/C=60%については中性化深さが試験体有効寸法を超えたため測定不能であった。促進試験, 自然曝露試験ともに中性化深さは, 水セメント比が高いほど, 細骨材のランクが低いほど, 大きくなる傾向にある。また, 水セメント比が大きいほど, 細骨材品質の影響を受けやすく, 大きな差が生じている。

5.2.3 凍結融解試験

凍結融解試験の結果を図-14に示す。ランク A については, いずれの水セメント比においても相対動弾性係数は300サイクル時に90%を超える結果となった。よって, ランク A の細骨材を用いたコンクリートの耐凍害性は良好と判断できる。ランク B, ランク D については, 相対動弾性係数は300サイクル時に90%を超えるものの, ランク A に比べて質量変化率が大きく, 特にランク D, W/C=60%の試験体は質量変化率が7%で, 表面にスケーリングが認められた。

5.2.4 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験の結果を図-15に示す。ランク A に比べランク B, ランク D は, 長さ変化率, 質量変化率ともに大きな値となった。

これは, コンクリートの単位水量と細骨材の吸水率が影響していると推測される。

6. まとめ

本研究では, 土質試験結果による自然含水比と強熱減量によって建設発生土を A~D に分類しランク付けした。これらの発生土から製造した細骨材について, 骨材試験, コンクリート試験を行い, 実用性について検討した。

ランク A の発生土 (自然含水比 \leq 5%, 強熱減量 \leq 2.5%) を用いたコンクリートは, 細骨材自体が JIS 規格を満足していることもあり, コンクリートの性状について何ら問題がないため, 十分適用可能であると考えられる。

ランク B の発生土 (5% < 自然含水比 \leq 10%,

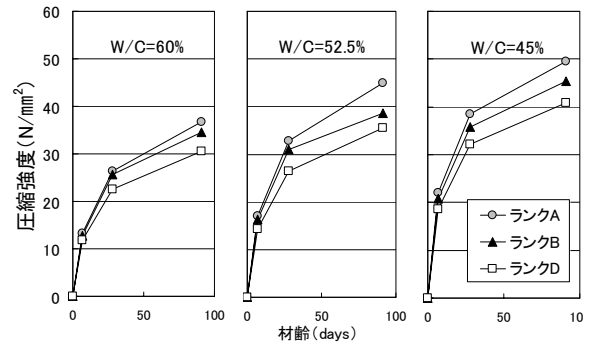


図-9 圧縮強度の経時変化

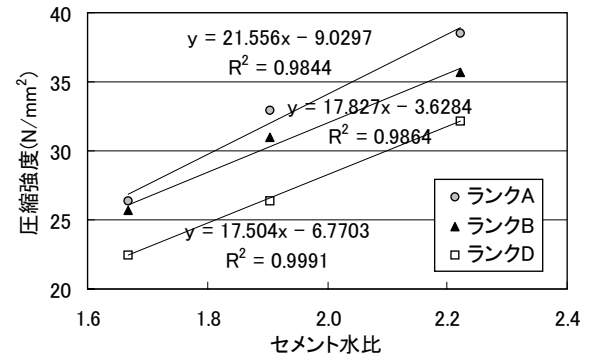


図-10 圧縮強度とセメント水比の関係

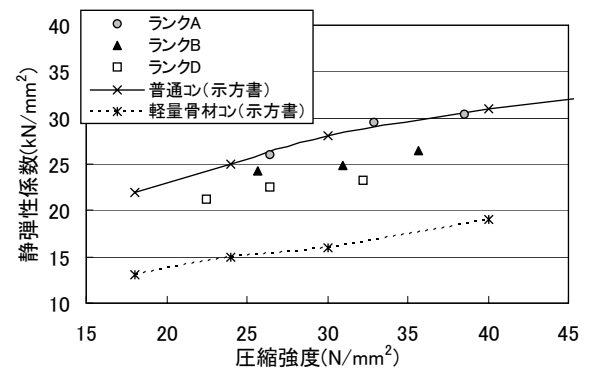


図-11 圧縮強度と静弾性係数の関係

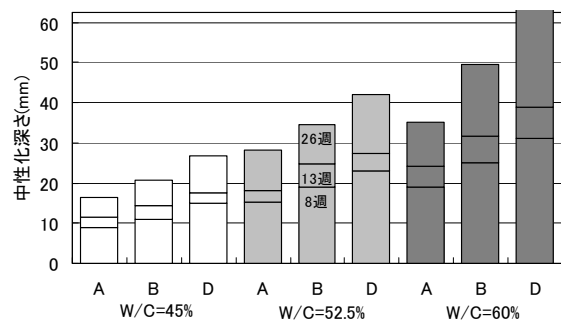


図-12 中性化深さ (促進試験)

2.5%＜強熱減量≤3.5%)を用いたコンクリートは、ランク A に比べて圧縮強度および静弾性係数が小さく、乾燥収縮および中性化速度が大きいが、水セメント比を若干下げることによって改善可能であると推測できる。ただし、施工時の空気量のロス、ブリーディングの少なさ、凝結の速さなどに注意を払って作業条件を選定する必要がある。収縮によるひび割れを防ぐための若干の配慮が必要である。以上に留意が必要であるが、コンクリートへの適用は十分可能であると考えられる。

ランク D の発生土 (15%＜自然含水比, 4.5%＜強熱減量)を用いたコンクリートは、フレッシュおよび硬化コンクリート試験において、ランク A から大きく劣る結果となった。水セメント比を下げることで圧縮強度、静弾性係数、また中性化、乾燥収縮、耐凍害性などある程度は改善できると考えられる。しかし、スランプおよび空気量のロスが大きく、凝結が速く、ブリーディングが極めて少ないため、迅速な運搬、打設、湿潤養生等の施工管理において様々な配慮を必要とするだけでなく、遅延形の高性能 AE 減水剤の使用や、養生における表面散水や表面養生剤の使用など、材料面においても配慮を要する。品質はもちろん、施工管理の困難さ、そのためのコストを考えると、コンクリートへの適用の可能性は低いと考えられる。

最後に、ランク C の発生土 (10%＜自然含水比 ≤15%, 3.5%＜強熱減量 ≤4.5%)についてはコンクリート試験を行っていないが、ランク B とランク D の試験結果から考えると、例えば無筋コンクリートのみへ適用するなど、構造物の重要度を考慮して利用すべきと考える。

参考文献

- 1) 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 (案)・同解説, 建築学会
- 2) 2002 年制定コンクリート標準示方書[構造的機能照査編], pp29, 土木学会

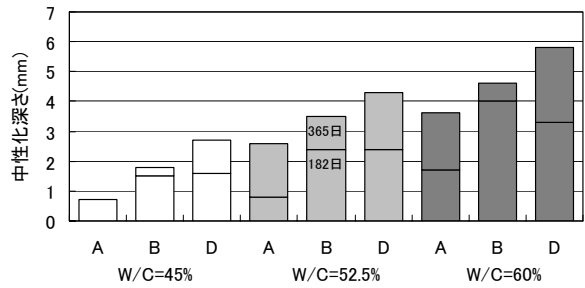


図-13 中性化深さ (自然曝露)

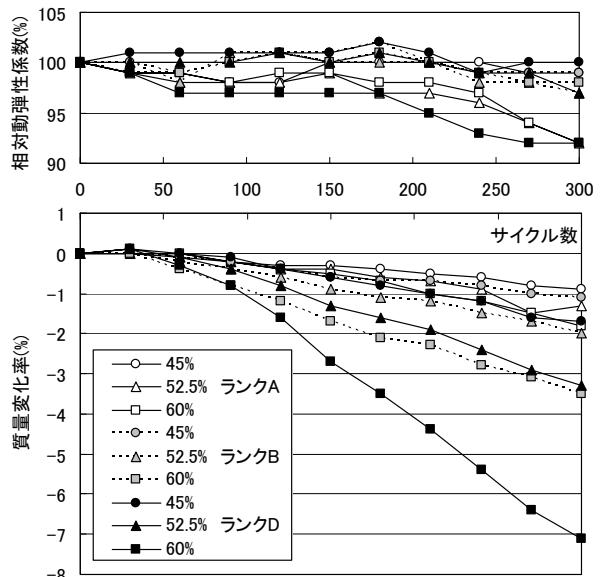


図-14 凍結融解試験結果

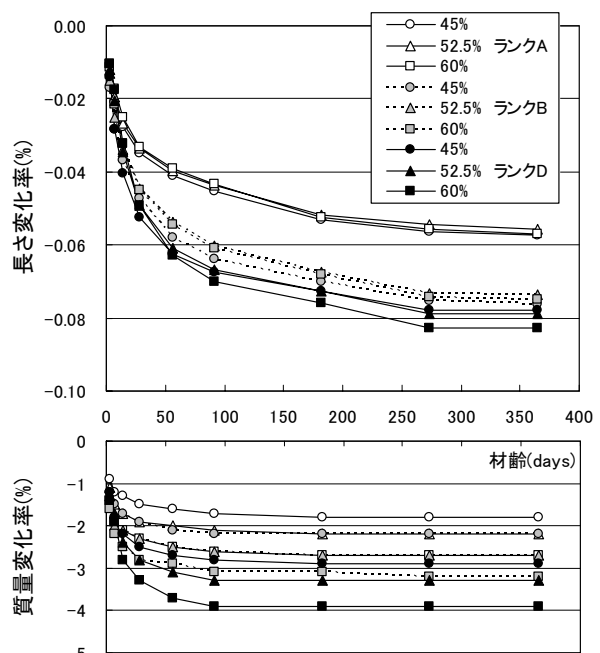


図-15 乾燥収縮試験結果