

ネパール製セメントを用いたセメント硬化体の特性

宮崎大学 工学部 (学) 前田 奨季
 宮崎大学大学院 農学工学総合研究科 松浪 康行
 宮崎大学 工学部 (正) 安井 賢太郎
 宮崎大学 工学教育研究部 (正) 李 春鶴

1. はじめに

近年, 世界各地で多くの自然災害が発生している。この災害の中でも地震による建物の倒壊が特に多く, アジアのインフラストラクチャーの整備が進んでいない貧困地域に被害が集中している¹⁾。特にネパールでは, 2015 年に中西部で発生した大地震による被害で, 現在も傾いた建物が存在している²⁾。ところで, 海外においてインフラ整備を進める際には, 現地で入手可能な材料を使用することが望ましいが, 材料を使用するにあたってはその特性を理解することが非常に重要である。特に, セメントはコンクリートやモルタルの品質に多大な影響を与える重要な材料である。

本研究は, ネパールにおける災害復興工事を行うことを踏まえ, ネパール製セメントを用いたセメント硬化体の特性について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントはネパール製セメント (N セメント) を使用し, 比較用に日本製普通ポルトランドセメント (J セメント) を使用した。Table 1 に各セメントの物性値および化学組成を示す。表より, N セメントは J セメントと比較して強熱減量が高く, MgO の量が多い。Fig.1 に各セメントの XRD 回析結果を示す。両方のセメントに Alite, Blite などのクリンカ鉱物のピークが確認された。その一方でピークの違いに着目すると, ネパール製セメントには, Periclase ($2\theta = 42.9^\circ$), Dolomite ($2\theta = 30.9^\circ$) のような酸化マグネシウム含有鉱物のピークや 26.6° 付近に Quarzs のピークも見られる。これは, N セメントに産業廃棄物・副産物が含まれている可能性を示唆している³⁾。

Table 2 に各セメントを使用して作製したモルタルの配合を示す。なお, 細骨材には石灰石砕砂 ($\rho_s = 2.69 \text{ g/cm}^3$) を使用した。また, モルタル供試体の呼び名を, 製造国

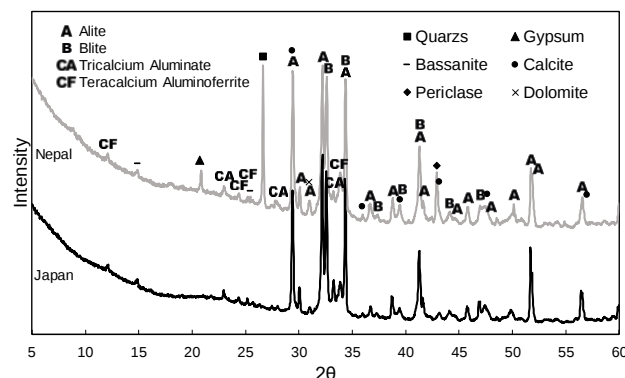


Fig.1 XRD patterns of cements

Table 2 Mortar mix designs

Specimen Name	W/C (%)	Amount of mixed materials (kg/m ³)		
		W	C	S
N40 (or J40)	40	279	698	1340
N50 (or J40)	50	306	612	1340
N60 (or J40)	60	327	546	1340

(N: ネパール, J: 日本) と水セメント比を組み合わせて示す。

2.2 実験方法

モルタル供試体の圧縮強度試験, せん断強度試験, 熱分析, 粉末 X 線回析 (XRD) を行った。

圧縮強度試験は, $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ の供試体を用いて JIS A 1108 に準拠して行った。

せん断強度試験は, レンガ造りの要領で日本製レンガの上に目地として厚さ 10 mm のモルタルを敷き, その上にレンガを乗せて作製した供試体を用いた。試験は載荷速度 0.1 mm/min で鉛直荷重を漸増させて行った。

XRD は, X'Pert-Pro MRD (PANalytical 社製) を使用して, 粉碎したモルタルに含まれる結晶相を同定した。

熱分析は, TG-DTA320U (Seiko Instruments 社製) を使用して, N₂ 雰囲気下で室温から 1000°C まで昇温速度 10°C/min で加熱昇温した。

Table 1 Physical properties and chemical composition of cements

	Density	Blaine	Ig.loss	Chemical composition (mass%)											
	(g/cm ³)	(cm ² /g)	(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl
N	3.14	3,020	3.03	23.12	4.70	3.60	57.10	5.92	1.72	0.10	0.56	0.38	0.04	0.03	—
J	3.16	3,490	2.08	20.43	5.48	3.16	64.30	1.36	2.11	0.25	0.43	—	—	—	0.014

3. 実験結果・考察

Fig.2 に圧縮強度試験結果を示す. 各モルタルを比較すると, ネパールセメント製モルタル (N モルタル) は日本セメント製モルタル (J モルタル) よりも圧縮強度が低く, W/C が増加するにつれて圧縮強度が低下した. 各材齢における強度の増加率は, N モルタルの方が大きかった. これは, N セメントが産業廃棄物・副産物を含んでいることで, 潜在水硬性やポズラン反応が起こるためと考えられる.

Fig.3 にせん断強度試験結果を示す. ここでエラーバーは標準偏差 ($n=5$) である. 全ての供試体においてモルタル部でせん断破壊した. N モルタルの平均値は 1.8 N/mm^2 であり, 一方の J モルタルの平均値は 2.8 N/mm^2 であった. どちらも圧縮強度の約 $1/8$ の値であり, 圧縮強度と同様に N モルタルの方が低かった.

Fig.4 にモルタルの XRD パターンを示す. 両方のモルタルに石灰石砕砂由来の Calcite や水和反応生成物の Calcium Hydroxide の強度ピークが確認され, 加えて N モルタルにはセメントと同様, 26.6° 付近に N セメント由来の Quarzs のピークが確認された.

Fig.5 にモルタルの TG-DTA 曲線を示す. 400°C 付近に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の脱水による質量減少と DTA 吸熱ピークが観測された. この温度域の質量減少率は共に約 1.35% とほぼ同等の値であった. 結合水量で比較すると, N モルタルが 24.2% , J モルタルが 30.9% であり, 前者の方が 6.7% 小さい. これより, N セメントは J セメントより水和率が小さく, 前述の圧縮強度およびせん断強度で示された強度の差の要因が確認できた.

4. まとめ

ネパール製セメントの特性について検討するためにモルタルを作製し, 日本製セメントで作製したモルタルと比較した. 以下に得られた知見をまとめる.

N セメントは MgO 量が多く, Quarzs が含有されていること等から産業廃棄物・副産物が含まれている可能性が高い. これより水和率が低下し, J モルタルに比べて N モルタルは圧縮強度とせん断強度がともに小さくなったと考えられる. また, N モルタルの各材齢における強度の増加率は大きい.

今後, 長さ変化試験や水銀圧入試験等を行い, ネパール製セメントの特性を報告する予定である.

謝辞: 本研究では太平洋セメント株式会社様に提供いただいたセメント, および太平洋マテリアル株式会社様の実験機器を使用した. 心より感謝の意を表する.

参考文献:

- 1) CRED: Natural disasters 2018, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2019
- 2) 藤永隆, ロハニタラニディ, 竹内崇: 2015 年ネパール地震の被害調査報告, 神戸大学都市安全研究

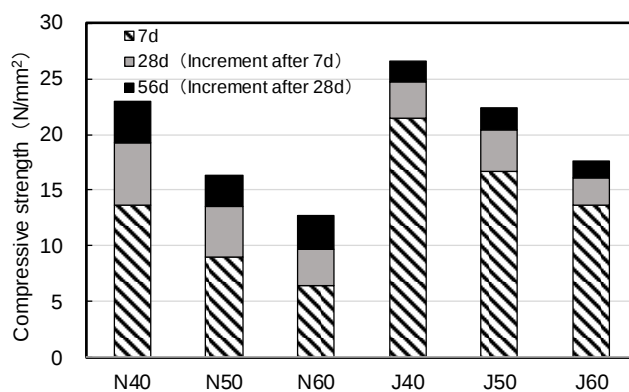


Fig.2 Comparison of compressive strength

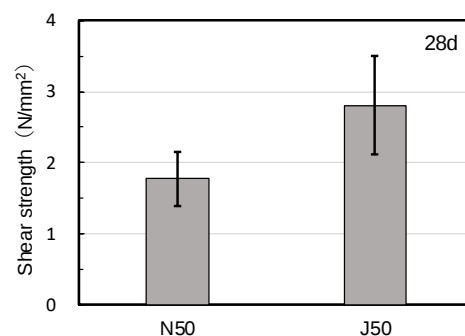


Fig.3 Comparison of shear strength

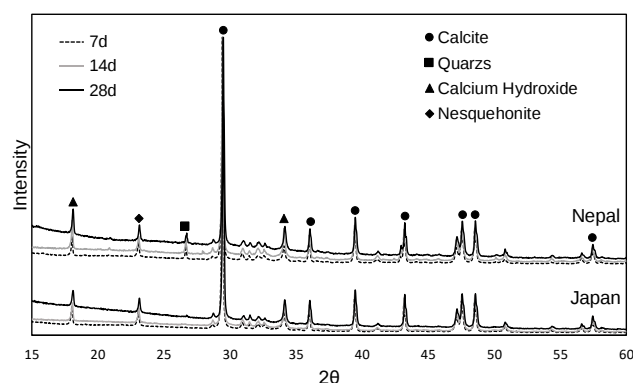


Fig.4 Powder XRD patterns of mortars

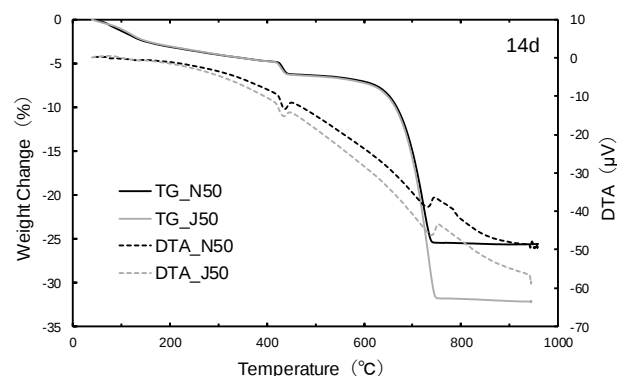


Fig.5 TG-DTA curves

センター研究報告, 第 20 号, 2016

- 3) 依田侑也, 寺本篤史, 黒田泰弘, 新大軌: コンダクションカロリメーターを使用した海外セメントの品質評価方法, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.116-122, 2014