



화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 기초특성 평가

최형길¹⁾ · 김규용^{2)*} · 노구치 타카후미³⁾

¹⁾무로란공업대학 대학원 공학연구과 ²⁾충남대학교 대학원 건축공학과 ³⁾동경대학 대학원 공학계연구과

Evaluation for Fundamental Properties of Concrete mixed with Pyroclastic Flow Deposit

Hyeong-Gil Choi,¹⁾ Gyu-Yong Kim,^{2)*} and Takafumi Noguchi³⁾

¹⁾Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Hokkaido, 050-8585, Japan

²⁾Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Rep. of Korea

³⁾Department of Architecture, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8656, Japan

ABSTRACT The aim of this study was to investigate the fundamental properties of pyroclastic flow deposit (PFD), and evaluate the fresh and strength properties of concrete mixed with PFD by indoor tests. The fresh properties, strength properties, shrinkage properties, and durability of the concrete mixed with PFD were also evaluated by outdoor plant tests. the harmful alkali-silica reaction did not occur by mixing concrete with PFD. ages. Moreover, no difficulty was found to be associated with concrete manufacture in the plant because no change in air contents and noticeable slump loss occurred by mixing concrete with PFD. The strength properties, shrinkage properties, and durability of the concrete mixed with PFD were also compared with those of normal concrete. With a suitable temperature control and curing method of concrete, the concrete mixed with PFD is considered to be useful in the construction material field.

Keywords : pyroclastic flow deposit, activity factor, alkali silica reaction, pozzolanic reaction, durability

1. 서 론

최근 콘크리트 분야에 있어서 이산화탄소 저감이나 미이용 자원의 유효이용의 관점으로부터 각종 폐기물이나 산업 부산물을 적극적으로 활용하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 상황에서 국외를 중심으로 화산재를 콘크리트에 적용하는 연구가 진행되고 있다.¹⁻⁶⁾ 화산재는 천연의 포졸란 재료로서 콘크리트의 장기적인 내구성의 향상을 기대할 수 있다고 보고¹⁻³⁾되고 있으며, 가까운 일본의 북방 건축 종합 연구소의 연구팀은 고대 로마의 콘크리트 유적에 화산재가 포함되어 있는 것에 착안하여, 화산재를 콘크리트의 잔골재의 일부로서 적용하는 것으로 일반 콘크리트와 비교해 중성화 저항성이 약 1.7배 상승하고 고내구화 콘크리트의 제조가 가능하다는 것을 밝혔다.³⁾

그 외, Mitsudome,⁴⁾ Onoue⁵⁾ 등은 신모에다케 분화에 의

해 발생한 화산재를 콘크리트에 유효하게 활용하기 위하여 각 배합비별로 공학적 특성 및 수축특성 등을 분석하였으며, Yamamoto⁶⁾ 등은 신모에타케 및 사쿠라지마의 화산분출물을 이용해 친환경, 고기능성 기반재료의 개발을 위한 연구를 실시하였다.

한편, 우리나라에서도 최근 백두산 주변의 화산성 지진의 증가와 함께 백두산 산림의 수목고사, 천지 칼데라 내의 헬륨이나 수소 등 화산가스의 방출의 급증 및 백두산 주변 지형이 융기하는 등 백두산의 분화 가능성이 시사⁷⁾되고 있어, 이에 따른 방안의 모색이 필요하지만, 관련연구는 지극히 미진한 것이 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 화산재를 건설재료로서 유효하게 활용하기 위해 화산재의 일종인 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 기초성능을 분석하고, 실기플랜트 실험에 의한 강도특성이나 내구특성에 대해 평가하여, 화쇄류 퇴적물을 건설재료로서의 유효활용을 위한 기초적인 검토를 실시했다.

*Corresponding author E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr

Received June 4, 2015, Revised August 4, 2015,

Accepted September 14, 2015

©2016 by Korea Concrete Institute

2. 화쇄류 퇴적물의 기초물성 평가

2.1 실험개요

화산재는 일본의 남큐슈 지방에 넓게 분포하고 있는 화쇄류 퇴적물⁸⁾로서 거대분화에 의해 분출한 입호 화쇄류를 기원으로 하는 일차 퇴적물을 대상으로 했다.

채취한 화쇄류 퇴적물의 화학조성을 파악하고, 골재로서의 기본 물성치인 밀도, 흡수율, 조립률, 염화물량, 미세분량 및 입도분포를 평가하기 위한 일련에 실험을 “JIS 기준”에 준해 실시했다. 다음으로 건조한 화쇄류 퇴적물을 5mm의 체에 의해 분별하여, 화쇄류 퇴적물의 포졸란 반응에 의한 활성도 및 알칼리 실리카 반응성을 검토했다. 활성도 실험은 “JIS A 6201 부속서 2”에 준해 화쇄류 퇴적물을 시멘트의 0, 10, 30 및 50%를 치환하여 모르타르 시험체를 제작한 후, 수증양생(20°C) 재령 7, 28, 91일의 압축강도를 측정하여 활성도 지수를 산출했다.

한편, 알칼리 실리카 반응은 “JIS A 1146”에 준해 40×40×160 mm의 각주공시체를 이용하여 팽창변위를 측정했다.

2.2 화쇄류 퇴적물의 기초물성

화쇄류 퇴적물의 주요한 화학조성을 Table 1에 나타낸다. 전체적으로 실리카 함유량이 약 70%로 높은 비율을 차지하고 있으며, 나트륨이나 칼륨 등 알칼리 성분을 약 6% 가까이 포함하고 있는 것을 알 수 있다. 화쇄류 퇴적물의 광물조성으로서 일반적으로 화산유리를 약 60%정도 포함^{8,9)}하고 있기 때문에 이상의 실리카나 알칼리의 함유량이 꽤 많은 것은 이러한 화산유리를 구성하고 있기 때문이라고 판단된다.

화쇄류 퇴적물의 각종 물성치 및 입도분포를 Table 2 및 Fig. 1에 나타낸다. 화쇄류 퇴적물은 보통의 잔골재와 비교해 흡수율이 높고 밀도가 작은 것을 확인할 수 있다. 또한, 0.15 mm 이하의 입도가 평균 30% 이상을 차지하고 있으며, 0.075 mm이하의 미립분의 양도 약 20%정도 차지하고 있어, 화쇄류 퇴적물에는 상당히 많은 미립분을 포함하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

화쇄류 퇴적물 혼입에 의한 모르타르의 압축강도, 활

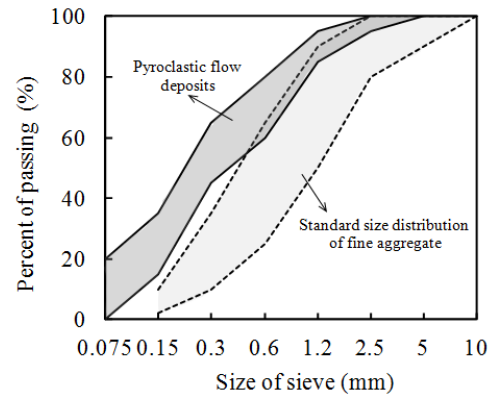


Fig. 1 Particle size distribution curve

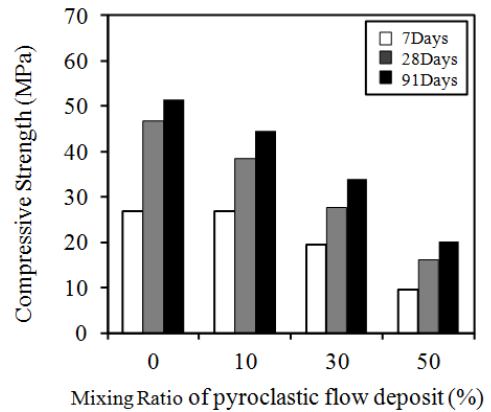


Fig. 2 Change of compressive strength

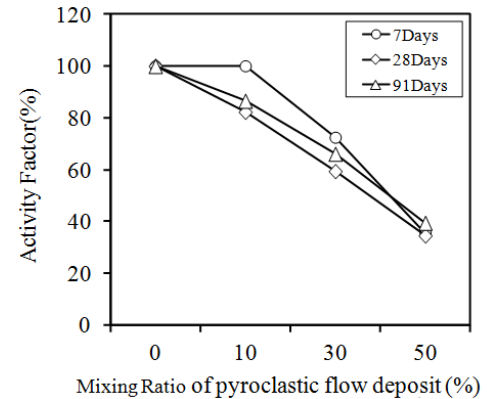


Fig. 3 Change of activity factor

Table 1 Chemical composition of pyroclastic flow deposit (%)

SiO ₂	TiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	lg.loss
71.27	0.44	0.29	14.14	0.06	3.98	1.96	3.81	3.69	0.12	2.14

Table 2 Material properties of pyroclastic flow deposit

Type	Value	Type	Value
Density (g/cm ³)	2.11	Fineness modulus	1.66
Absorption ratio (%)	6.86	Amount of chloride (%)	0.001
Sulfur trioxide (%)	0.07	Fine particle content (%)	19.1

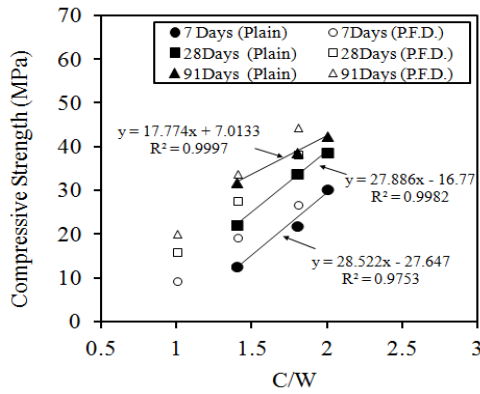


Fig. 4 Relationship of C/W and compressive strength

성도 지수의 산정결과를 Fig. 2 및 3에 나타낸다. 활성화도는 화쇄류 퇴적물의 반응성을 확인하기 위한 것으로 활성화도 지수는 보통포틀랜드 시멘트를 사용해 제작한 기준 모르타르의 압축강도에 대한, 화쇄류 퇴적물을 치환하여 제작한 시험 모르타르의 압축강도의 비에 의해 요구했다. 화쇄류 퇴적물을 시멘트에 대해서 치환했기 때문에 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의해 압축강도는 저하하고, 이에 따라 활성화도 지수가 저하하는 결과가 되었다. 하지만, Fig. 4의 C/W와 압축강도의 관계로부터 동일 C/W에서 비교해 보면 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의해 전 재령에서 압축강도는 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이는, 일반적으로 비정질의 실리카를 60% 이상 포함한 재료의 경우, 포졸란 반응을 일으키는 경우가 많으며,⁹⁾ 화쇄류 퇴적물에 있어서도 이러한 포졸란 반응이 콘크리트의 강도 증진에 영향을 주었다고 생각할 수 있다.

한편, 화쇄류 퇴적물의 알칼리 실리카 반응성의 시험결과로 모르타르바 법에 의한 팽창변위의 경시변화를 Fig. 5에 나타낸다. 3개의 시험체 모두 재령 182일의 시점에서 JIS A 1146이나 덴마크법, ASTM C 1260에 규정되고 있는 팽창율 0.1%를 웃도는 유해한 팽창은 발생하지 않았다. Table 1의 화학조성과 같이 화쇄류 퇴적물에는 잠재적으로 알칼리 실리카 반응을 일으키는 광물을 포함하고 있지만, 동시에 포졸란 반응성이 있기 때문에 실용에 있

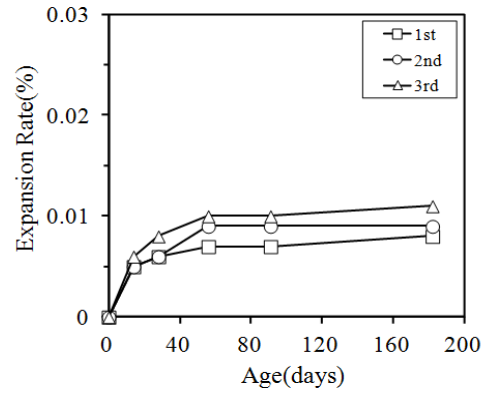


Fig. 5 Change of expansion rate

어서 유해한 반응은 발생하지 않았다고 판단된다.^{8,9)}

3. 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 특성

3.1 실험개요

화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 실험계획을 Table 3에 나타낸다. 화쇄류 퇴적물의 적용범위를 검토하기 위해서 실내실험에 의해 화쇄류 퇴적물의 혼입율에 따른 콘크리트의 균질성은 정상 및 강도특성을 평가했다(실내 실험). 그 후, 실제의 레미콘 공장의 실기플랜트에 의한 제조실험을 실시해 콘크리트의 균질성은 정상, 강도특성, 수축특성 및 내구특성에 대해 검토를 실시했다(실기실험). 실기플랜트에 의한 제조실험은 강도의 보정이 가장 어렵다고 상정되는 하기에 실시했다. 콘크리트의 사용재료 및 배합을 Table 4 및 5에 나타낸다. 미이용 자원의 활용의 측면과 함께 내구성 증진을 목적으로 화쇄류 퇴적물을 잔골재의 일부로서 치환했으며, 더욱이 이산화탄소 저감의 측면으로부터 시멘트는 고로시멘트 B종을, 잔골재 및 굵은골재는 수축저감에 효과가 있다고 알려져 있는 석회암 쇄사 및 석회암 쇄석을 사용했다. 한편, 화학 혼화제는 고성능 AE감수제를 사용했으며, 콘크리트의 목표치는 슬럼프 15 cm (화쇄류 퇴적물 70% 혼입 콘크리트) 및 18 cm

Table 3 Design of experiments

Level	W/C (%)	Mixing ratio of pyroclastic flow deposit (%) ²⁾	Evaluation items
I	40	50, 70	<ul style="list-style-type: none"> • Fresh properties (Slump, Air contents) • Compressive strength
	52.5		
	65 ¹⁾		
II	50 ¹⁾	70	<ul style="list-style-type: none"> • Fresh properties (Slump, Air contents) • Strength property (Compressive strength, S value) • Shrinkage property (Drying shrinkage, restrained shrinkage) • Durability property (Carbonation, Freezing and thawing)
	60		

¹⁾To make plain concrete

²⁾Mixed with volume ratio of fine aggregate

Table 4 Materials used

Type	
Cement	Blast furnace cement (Type B), Density : 3.04 g/cm ³
Pyroclastic flow deposit	Density : 2.11 g/cm ³ , Absorption ratio : 6.86%
Fine aggregate	Crushed Sand (Limestone fine aggregate), Density : 2.66 g/cm ³ , Absorption ratio : 1.06%
Coarse aggregate	Crushed stone (Limestone fine aggregate), Density : 2.66 g/cm ³ , Absorption ratio : 1.06%
Chemical admixture	Superplasticizer

Table 5 Mix Designs

Specimen	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)					
			Cement	Water	Fine aggregate		Coarse aggregate	
					Pyroclastic flow deposit	Crushed stone		
I	40-50 ¹⁾	40	42.4	462	185	282	348	961
	40-70		39.3	462	185	366	194	1012
	52.5-50	52.5	46.5	352	185	327	404	945
	52.5-70		41.6	352	185	408	218	1031
	60-0	65	50.0	258	168	0	921	948
	60-50		43.9	285	185	320	394	1023
	60-70		43.9	285	185	447	237	1023
II	50-0	50	49.2	350	175	0	858	913
	50-70		43.5	370	185	424	226	988
	60-70	60	45.3	308	185	456	242	988

¹⁾W/C-Mixing ratio (pyroclastic flow deposit)

(보통콘크리트 및 화쇄류 퇴적물 50% 혼입 콘크리트), 공기량은 4.5±1.5%로 했다.

3.2 실험방법

실내 실험 및 실기 실험에 있어, 콘크리트의 균지않은 성상으로서 슬럼프, 공기량을 측정했다. 압축강도는 콘크리트 타설 후 재령 1일에 탈형하여 수중양생(20°C)을 실

시한 후 재령 7, 28, 91일에 측정했다.

한편, 실기 실험의 경우, 실기 플랜트로부터 콘크리트를 제조한 후 경과시간 60분 후의 콘크리트의 공기량이나 슬럼프 로스를 측정해, 목표치를 만족하는 것을 확인한 후, Fig. 6과 같이 모의 구조체를 제작했다. 모의 구조체의 치수는 가로 1 m × 세로 1 m × 높이 1 m로 위아래를 두께 0.2 m의 단열재로 양생해 재령 91일의 코어강도를 측정했다.

건조수축은 재령 7일까지 수중양생(20°C)을 실시한 후 항온-항습실(20±2°C, 60±5%)에서 “JIS A 1129-2부속서 A”에 준해 길이변화를 측정했다. 또한, 구속균열 실험은 “JIS

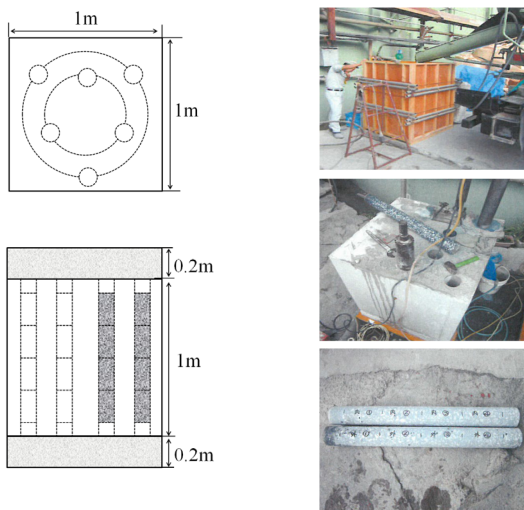


Fig. 6 Mock-up test and core specimen

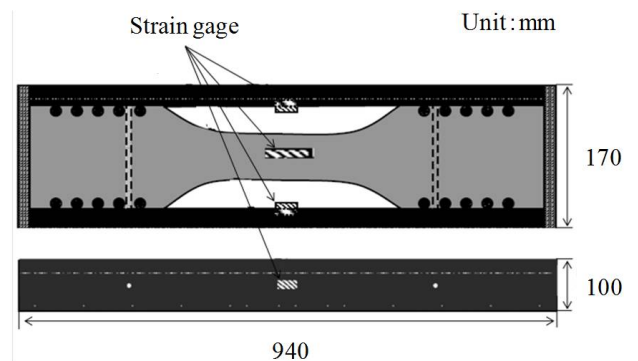


Fig. 7 JIS A 1151

A 1151”의 구속된 콘크리트의 건조수축 균열시험에 준해 Fig. 7과 같이 구속판의 중앙부 및 콘크리트 중앙부에 변위계지를 설치해 강재 및 콘크리트의 변위의 변화를 측정했다. 재령 7일까지는 타설면에 비닐시트를 덮고, 건조가 발생되지 않도록 물을 적신 습포 등으로 양생했다. 재령 7일에 탈형한 후, 항온·항습실(20±2°C, 60±5%)에서 기건양생을 실시해, 데이터로거에 의해 구속변위를 측정했다.

한편, 촉진중성화 실험은 “JIS A 1153”에 준해 100×100×400 mm의 각주공시체를 이용해 측정했다. 촉진조건은 온도 20±2°C, 습도 60±5%, CO₂ 농도 5±0.2%로 했다. 동결융해 실험은 “JIS A 1148 A법(수중 동결 융해 시험 방법)”에 준해 동결온도를 -18°C, 융해 온도를 5°C로 했다. 1 사이클을 3시간으로 하여, 300 사이클까지 측정해 매 30 사이클마다의 질량변화율과 1차 공명 진동수에 의한 상대 동탄성계수 및 내구성 지수를 평가했다.¹⁰⁾

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 실내실험에 의한 굳지않은 성상 및 강도특성

Fig. 8에 실내실험에 의한 콘크리트의 굳지않은 성상의 결과를 나타낸다. 각 물시멘트비에 있어, 화쇄류 퇴적물 혼입율에 관계없이 목표 슬럼프 및 공기량을 만족했다. 단지 화쇄류 퇴적물은 많은 미립분을 포함하고 있기 때문에 동일한 유동성을 얻기 위한 고성능 AE감수제의 사용량은 차이가 있지만, 화쇄류 퇴적물을 70% 혼입한 경우에도 약 1.2~1.7의 범위에서 적용 가능한 것으로 판단된다.

Fig. 9에 C/W와 재령 28일의 압축강도의 관계를 나타

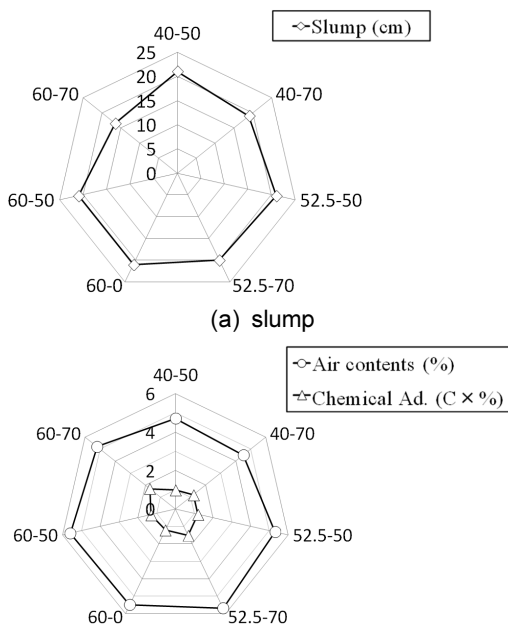


Fig. 8 Fresh properties of concrete from indoor test

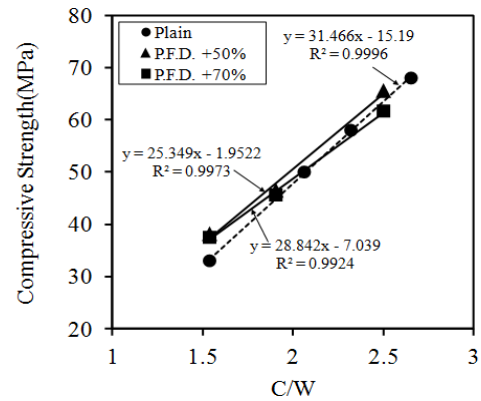


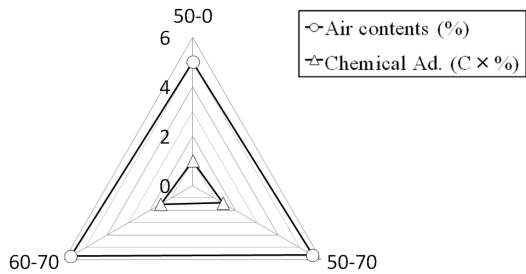
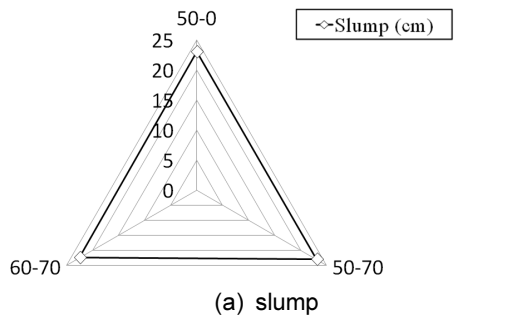
Fig. 9 Relationship of C/W and compressive strength at age 28 days

낸다. 그림에는 본 검토로의 결과를 포함해 저자가 행한 보통콘크리트의 결과¹⁾도 더불어 나타내 보인다. 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트에 있어서 C/W와 압축강도의 관계는 직선적 변화를 보여 강도저하는 볼 수 없었다. 화쇄류 퇴적물을 70% 혼입한 콘크리트의 압축강도가 화쇄류 퇴적물을 50% 혼입한 콘크리트 보다 작은 경향이지만 그 차이는 작았으며, 전체적으로 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트와 비교해서 동등 혹은 그 이상의 압축강도를 발현하는 것을 확인할 수 있었다.

3.3.2 실기플랜트 실험에 의한 굳지않은 성상 및 강도특성

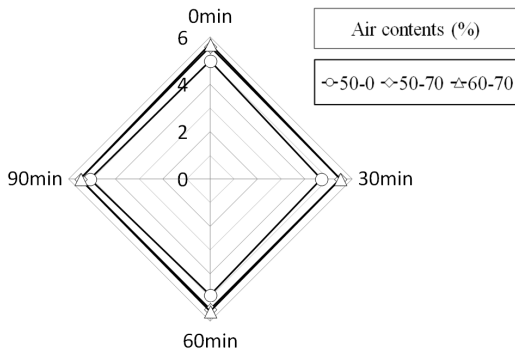
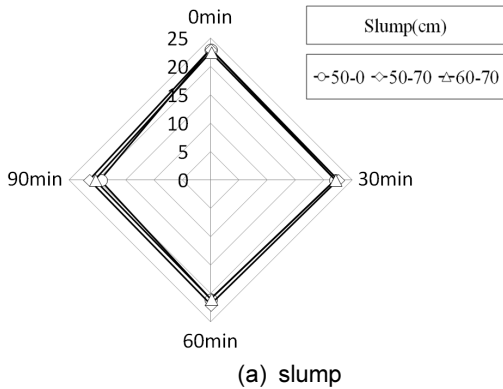
실기 플랜트 실험에 의한 콘크리트의 굳지않은 성상 및 슬럼프, 공기량의 경시변화를 Fig. 10 및 11에 나타낸다. 타설 직후 슬럼프 및 공기량은 목표치를 만족했다. 또한, 90분경과 후에도 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 공기량의 변화나 현저한 슬럼프 로스는 발생하지 않고 목표치를 만족하고 있어, 실기 플랜트로의 제조도 아무런 문제가 없다고 판단된다.

한편, 실내실험에 있어서, 화쇄류 퇴적물 70%를 혼입한 콘크리트의 재령 28일의 압축강도 결과를 바탕으로 10%의 안전률을 고려해 C/W와 압축강도의 관계식을 요구했다. Fig. 12에는 요구한 C/W와 압축강도의 관계식 및 실기 플랜트 실험의 재령 28일의 압축강도의 결과를 나타낸다. 실기 플랜트로부터 제조한 콘크리트의 압축강도는 실내실험으로부터 10%의 안전률을 고려해 요구한 C/W와 압축강도의 관계식보다 안전측의 평가가 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 보통 콘크리트의 압축 강도와 비교해도 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의해 콘크리트의 강도저하는 발생하지 않았다. Fig. 13에 구조체 보정강도 $_{28}S_{91}$ 를 나타낸다. 관리용 공시체의 20°C 수중양생 재령 28일의 강도와 모의부재의 재령 91일의 코어강도의 차이로부터 요구한 구조체 강도 보정치 $_{28}S_{91}$ 는 각각 3.7 N/mm² 및 2.9 N/mm²로 JASS 5의 하기의 6 N/mm²를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.



(b) Air contents and amount of chemical admixtures

Fig. 10 Fresh properties of concrete from plant test



(b) Air contents

Fig. 11 Change of slump and air contents with the passage of time

3.3.3 건조수축 및 구속균열특성

건조수축 및 질량변화율의 측정결과를 Fig. 14에 나타낸다. 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 건조수축은 보통 콘크리트와 비교해서 증가하는 경향으로 이것은 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 단위수량의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 화쇄류 퇴적물을 혼입한 경우, 건조

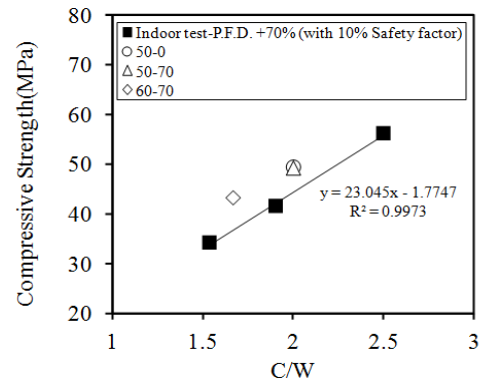


Fig. 12 Relationship of C/W and compressive strength

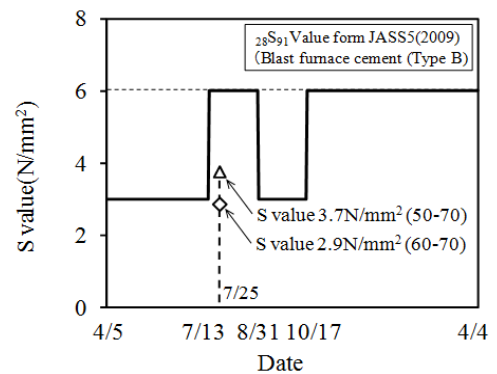


Fig. 13 $_{28}S_{91}$ Value

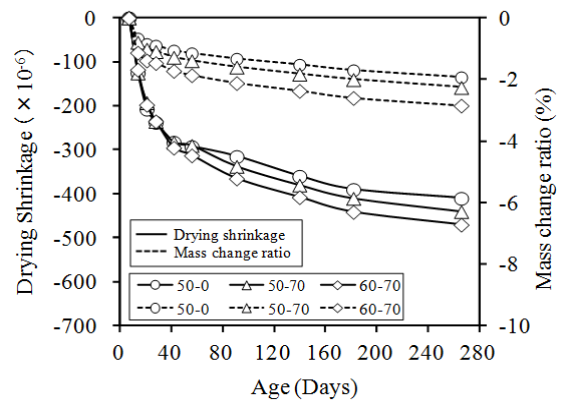


Fig. 14 Drying Shrinkage and mass change ratio

에 의한 질량변화율이 보통 콘크리트보다 큰 경향이지만 화쇄류 퇴적물에 다량 포함된 미립분의 습윤 효과에 의해서 초기재령에 있어서의 건조수축은 보통 콘크리트와 유사한 수준이었다. 그 후, 한층 더 콘크리트 내부가 건조하면서 수축량은 증가하지만, 건조재령 260일의 시점에서 보통 콘크리트와의 건조수축의 차이는 30×10^{-6} 정도로 작았다.

구속균열 실험에 의한 강재의 구속변위 및 구속응력의 산정 결과를 Fig. 15 및 16에 나타낸다. 구속응력은 구속강재의 변위를 이용해 콘크리트와 구속강재의 힘의 균형 조건 및 변위의 적합조건에 의해 산출했다.¹¹⁾ 건조가 진

행됨에 따라 구속변위의 증가에 의해 구속응력은 증가해, 보통콘크리트 및 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트는 각각 건조개시 55.9일 및 60.1일 후에 콘크리트 표면에 관통균열이 발생했다. 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트가 보통 콘크리트에 비해 균열 발생일은 조금 빠르며, 화쇄류 퇴적물의 혼입에 따른 단위수량 증가 및 그에 따른 건조수축이 큰 것이 원인이어서 생각할 수 있다. Fig. 17에 건조수축량과 구속된 콘크리트의 수축량으로부터 계산한 구속도의 산정결과를 나타낸다. 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 구속도는 보통 콘크리트와 거의 유사한 경향으로 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 균열 저항성은 보통 콘크리트와 동일한 정도로 생각할 수 있다.

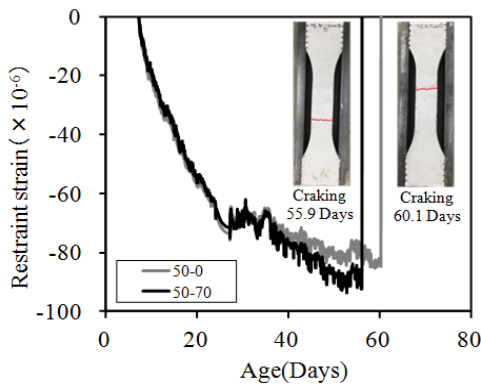


Fig. 15 Restraint strain

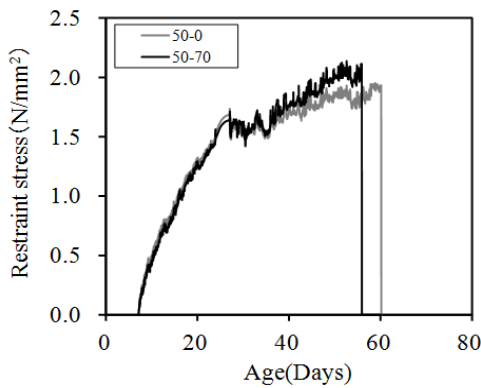


Fig. 16 Restraint stress

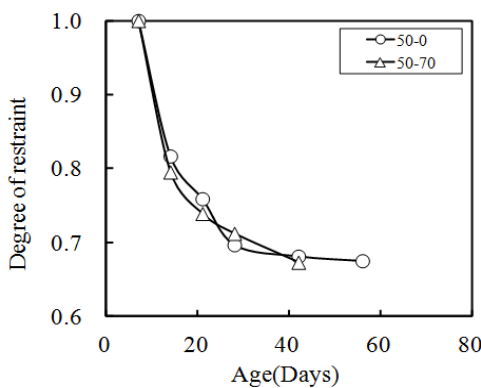


Fig. 17 Degree of restraint

3.3.4 중성화 및 동결융해 특성

중성화 깊이의 변화와 상대 동탄성계수 및 질량 변화율을 Fig. 18 및 19에 나타낸다. 높은 물시멘트비일수록 중성화하기 쉽고 상대 동탄성계수도 저하하지만, 동일 수준의 물시멘트비에서 비교하면, 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 중성화 깊이의 변화나 상대 동탄성계수의 변화에는 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

동결융해 시험에 의한 내구성 지수의 산출 결과를 Fig. 20에 나타낸다. 물시멘트비 50%의 수준에서 보통콘크리트 및 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 내구성 지수는 각각 96.9% 및 97.0%로 화쇄류 퇴적물 혼입에 의한 내구성 지수의 저하는 볼 수 없었다. 또한, 동결융해 실

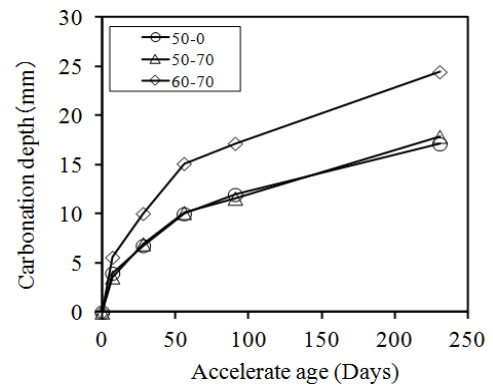


Fig. 18 Carbonation depth

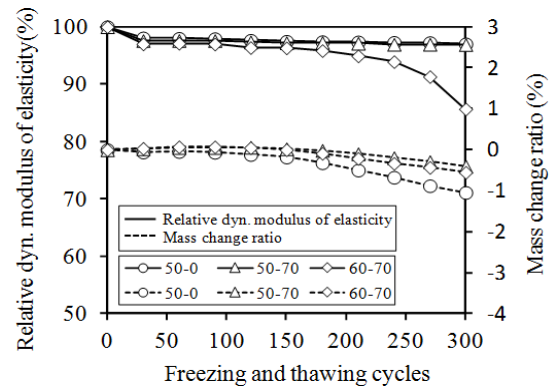


Fig. 19 Relative dynamic modulus of elasticity

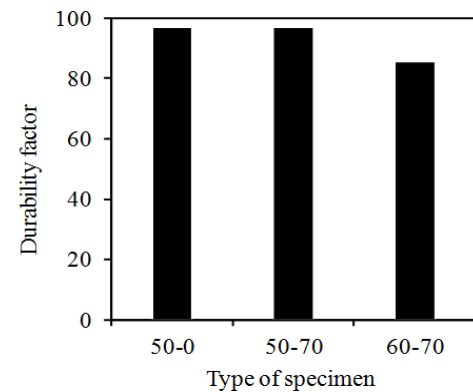








Fig. 20 Durability factor

Table 6 Specimen appearance of after freezing and thawing test

50-0		50-70		60-70	
0 cycle	300 cycle	0 cycle	300 cycle	0 cycle	300 cycle
					

험에 의한 각 공시체의 질량변화는 초기부터 조금 작아지는 경향으로 이것은 동결융해에 의한 콘크리트 내부조직의 열화에 의해 시험체내에 수분이 유입하기 쉬워져 스켈링이 진행되고 있는 것이 원인으로 생각할 수 있지만, 그 양은 소량이며, Table 6과 같이 동결융해 실험 300 사이클 종료 후에도 콘크리트 표면의 모르타르가 박리하는 등의 현저한 스켈링 열화는 확인되지 않았다. 한편, 기존의 연구에서는 화산재를 혼입한 콘크리트의 경우, 충분히 장기양생을 실시하는 것으로 건조 수축의 억제 효과가 증가하는 것이나, 특히 포졸란 반응에 의한 콘크리트의 치밀화에 의해 내구성의 향상 및 균열의 발생도 억제할 수 있다고 보고¹²⁾되고 있어, 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트에 있어서도, 적절한 양생방법을 강구하는 것으로 수축이나 균열 저항성 및 내구성을 보통콘크리트의 수준보다 큰 폭으로 향상할 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 화산재를 건설재료로서 유효하게 활용하기 위해 화산재의 일종인 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 기초성능을 분석하고, 실기플랜트 실험에 의한 강도특성이나 내구특성에 대해 평가했다. 본 연구로부터 이하의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 유해한 알칼리 실리카 반응은 발생하지 않았다. 또한, 화쇄류 퇴적물에 의해 장기재령에 있어서의 강도 향상 등, 포졸란 반응의 효과를 기대할 수 있다고 판단된다.
- 2) 화쇄류 퇴적물 혼입에 의한 공기량의 변화나 현저한 슬럼프 로스는 발생하지 않았고, 실기 플랜트의 제조도 아무런 문제는 없다고 판단된다.
- 3) 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트와 비교해서 동등 혹은 그 이상의 압축강도를 발현하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 화

쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 구조체 보정치 $28S_{91}$ 치는 하기의 S치 6 N/mm^2 를 만족하는 것을 알 수 있었다.

- 4) 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 건조수축은 보통 콘크리트와 비교해서 증가하는 경향이며, 건조수축의 진행에 따른 구속응력의 증가와 함께 균열도 조금 빨리 발생했지만, 그 차이는 작았다. 또한, 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 중성화 깊이의 변화나 상대 동탄성 계수의 변화에는 큰 차이가 없고 보통 콘크리트와 동일한 정도로 평가되었다.
- 5) 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 경우, 콘크리트의 적절한 온도관리나 적절한 양생방법을 강구하는 것으로 건설재료 분야에 보다 유효하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

This research was supported by a grant from development of the next generation of concrete in the construction field with Ito Pyroclastic Flow Deposit (shirasu) funded by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan government (2015). And a series of experiments have received help from Tokyo SOC, Co. Ltd.

References

1. Tomoyose, A., Choi, H.G., Noguchi, T., Yamasita, Y., Ito, T., Takewaka, K., and Sato, J., "A Fundamental Study on the Application of Shirasu Concrete in Buildings: Part1 Evaluation of the Basic Properties of Shirasu and Shirasu Concrete by Indoor Experiment", *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, 2014, Sep, A-1, pp.317-318.
2. Choi, H.G., Tomoyose, A., Noguchi, T., Yamasita, Y., Ito, T., Takewaka, K., and Sato, J., "A Fundamental Study on the Application of Shirasu Concrete in Buildings: Part2 Evaluation of the Strength and Durability of Shirasu Concrete by Actual Experiment", *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, 2014, Sep, A-1, pp.319-320.
3. Development of long-life concrete using by volcanic ash. Annual report. Japan, Hokkaido research organization northern regional building research institute, 2012. p.45.
4. Mitsudome, Y., "On the effective use of volcanic ash from Mount Shinmoe as an aggregate for concrete", *Cement and Concrete*, 2012, Apr, Vol.782, pp.14-20.
5. Onoue, K., "Effective utilization of volcanic ash into concrete products", *International Workshop for Volcanic Risk Assessment and Disaster Preparedness*, 2012, Oct 31, Seoul, South Korea. pp.145-162.
6. Yamamoto, K., Negami, T., Hira, M., Aramaki, N., and

- Hayashi, Y., "Geotechnical properties of artificial geomaterials made from volcanic products in Southern Kyushu area", *Proceedings of the International Joint Symposium on Urban Geotechnics and Sustainable Development*, 2012, Nov 2-3; Seoul, South Korea, pp.230-233.
7. Comprehensive countermeasure of anticipative volcano maneuver for volcanic disaster prevention and mitigation: Korea Meteorological Administration, 2011. pp.1-12.
 8. Takewaka, K., "State of the art report on characteristics of shirasu concrete and its practical use", *Concrete Journal*, 2004, Mar, Vol.42, No.3, pp.38-47.
 9. Takewaka, K., "Characteristics of Shirasu Concrete - Based on contents in the manual established by Kagoshima Prefectural office", *Concrete Journal*, 2007, Feb, Vol.45, No.2, pp.16-23.
 10. Choi, H.G., Tomoyose, A., Noguchi, T., Yamasita, Y., Ito, T., Takewaka, K., and Sato, J., "A Fundamental Study on the Application of Shirasu Concrete in Buildings: Part2 Evaluation of the Basic Properties of Shirasu and Shirasu Concrete by Indoor Experiment", *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan*, 2014, Sep, A-1, p.319.
 11. Kirikoshi, K., and Mihashi, H., "Fundamental properties of shrinkage cracking of high performance fiber Reinforced cement-based composites", *7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-7)*, 2010, May 23-28, Jeju, South Korea. pp. 1592-1599.
 12. Koide, M., Takewaka, K., Yamaguchi, T., and Niko, M., "A fundamental study on property of shrinkage in shirasu concrete", *Proceedings of the japan concrete institute*, 2009 Jul, Vol.31, No.1, pp.535-540.

요 약 실내실험으로서 화쇄류 퇴적물의 기초물성을 평가하고, 화쇄류 퇴적물의 혼입율에 따른 콘크리트의 균질성은 성상 및 강도특성을 평가했다. 그 후, 실기 플랜트 제조실험을 실시해 화쇄류 퇴적물 혼입 콘크리트의 균질성은 성상, 강도특성, 수축 특성 및 내구특성에 대해 검토했다. 그 결과, 화쇄류 퇴적물의 혼입에 의한 유해한 알칼리 실리카 반응은 발생하지 않았다. 더불어, 화쇄류 퇴적물에 의해 장기재령에 있어서의 강도향상 등의 포졸란 반응의 효과를 기대할 수 있다고 판단된다. 실기 플랜트 제조실험에 있어서도 화쇄류 퇴적물 혼입에 의한 공기량의 변화나 현저한 슬럼프 로스는 발생하지 않았고, 실기 플랜트로의 제조도 아무런 문제는 없다고 판단된다. 한편, 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 강도특성, 수축특성 및 내구특성은 보통 콘크리트와 비교해서 동일한 수준으로 평가되었으며, 화쇄류 퇴적물을 혼입한 콘크리트의 경우, 콘크리트의 적절한 온도관리나 적절한 양생방법을 강구하는 것으로 건설재료 분야에 보다 유효하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 화쇄류 퇴적물, 활성도 지수, 알칼리 실리카 반응, 포졸란 반응, 내구성