共同研究報告書
整理番号第289号

都市ごみ焼却灰を用いた鉄筋コンクリート材料の開発に関する共同研究報告書

平成14年12月

独立行政法人　土木研究所
新材料チーム・構造物マネジメント技術チーム
東京都土木技術研究所
千葉県
埼玉県
麻生セメント㈱
住友大阪セメント㈱
太平洋セメント㈱
日立セメント㈱

Copyright © (2002) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第289号2002年12月

都市ごみ焼却灰を用いた鉄筋コンクリート材料の開発に関する共同研究報告書

独立行政法人土木研究所	材料地盤研究グループ長	三木　博史
	材料地盤研究グループ　上席研究員	明嵐　政司
	技術推進本部　主席研究員	河野　広隆
	材料地盤研究グループ　主任研究員	中村　俊彦
東京都土木技術研究所	杉本　隆男、鈴木　勲、宍戸　薫	
千葉県	田中　裕行、北橋　伸一	
	中山　公男、長谷川康博、三上　幸範	
埼玉県	内田　省三、小林　一夫、栗田　隆広	
麻生セメント（株）	甲斐吉三郎、堤　博文、吉瀬　寛	
住友大阪セメント（株）	小林　茂広、本田　優、酒木　哲也	
太平洋セメント（株）	富田　六郎、横山　滋、田中　敏嗣	
	石川　雄康、吉本　稔、尾花　博	
	福永　俊美、羽山　雅仁、石田　征男	
日立セメント（株）	木村　正尚、高橋　一男、椎野　宏明	

要　旨

都市ごみ焼却灰、下水汚泥等の生活廃棄物を主原料として製造される「普通エコセメント」を鉄筋コンクリート材料として利用する技術を確立するため、独立行政法人土木研究所、東京都土木技術研究所、千葉県、埼玉県および民間会社4社との間で平成11年度から13年度にかけて共同研究を実施した。本報告は、共同研究において得られた成果を取りまとめたものである。

キーワード：都市ごみ焼却灰、普通エコセメント、鉄筋コンクリート、コンクリート製品

まえがき

都市ごみ、下水汚泥等の生活廃棄物の処理については、処分場の確保の問題とともに、ダイオキシン類や重金属類による環境の汚染が一部で問題となるなど大きな社会問題となっている。国土交通省では、平成3年度から平成7年度にかけて実施した総合技術開発プロジェクト「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」において、省エネルギー型土木工法の開発の一環として、省エネルギー型セメントの利用技術の開発を行った。そこでは3種類のセメントが検討され、その一つが都市ごみ焼却灰、下水汚泥等の生活廃棄物を主原料として製造される環境負荷低減型セメント（エコセメント）であった。当時検討されたエコセメントは、廃棄物に由来する塩化物イオンを0.5～1.5%程度含む速硬形のセメントであり、利用用途として無筋コンクリートや地盤改良用固化材が想定されていた。その後の製造技術の進展により、塩化物イオン量を低減し、普通ポルトランドセメントに近い性状を有する「普通エコセメント」の製造が可能となり、鉄筋コンクリートへの適用も視野に入ってきた。

エコセメントの製造工程では、1,300℃以上の高温での焼成により焼却灰に含まれるダイオキシン類は分解されるとともに、重金属類の一部は塩化物として揮散、回収される。エコセメント製造技術は、これまで廃棄物として埋立処分されてきたものを再び資源として蘇らせることが可能な、資源循環型社会にふさわしい技術として期待されるものである。

平成12年1月には、廃棄物処理法上の特別管理一般廃棄物に当たる都市ごみ焼却灰の処理方法として、溶融処理とともに焼成処理が明記された。千葉県のエコタウンプランではエコセメント製造施設が中核施設の一つとして位置付けられ、平成13年5月には市原市に世界初のエコセメント専用工場が完成し、周辺自治体からの一般廃棄物焼却灰を使用してエコセメントの生産が始まった。平成13年度の実績で4.1万t、平成14年度には8.4万tのエコセメントが生産される見込みである。東京都においても、多摩地区の処分組合において専用プラント建設の計画があり、平成17年度完成の予定で、生産量としては13万t／年の計画である。このように、首都圏においてエコセメントの生産が進みつつある。平成14年7月にはJIS R 5214「エコセメント」が制定されるなど、利用のための環境整備も進んでいる。エコセメントを建設資材として積極的に活用することにより、資源循環型社会の構築に寄与できるものと期待される。

本共同研究は、普通エコセメントを鉄筋コンクリート材料として利用するための技術を確立すべく、独立行政法人土木研究所、東京都土木技術研究所、千葉県、埼玉県および民間会社4社（麻生セメント㈱、住友大阪セメント㈱、太平洋セメント㈱、日立セメント㈱）との間で平成11年度から平成13年度まで行われた。本報告書は、その成果を取りまとめたものである。なお、本共同研究により得られた成果をもとにエコセメント利用のためのマニュアルも策定した。

共同研究参加者名簿

独立行政法人土木研究所	三木　博史、明嵐　政司、河野　広隆、中村　俊彦
	苗村　正三（H13.3まで）、寺田　剛（H12.3まで）
東京都土木技術研究所	杉本　隆男、鈴木　勲、宍戸　薫
	土井内　元（H12.3まで）、関谷　英夫（H13.3まで）
千葉県	田中　裕行、北橋　伸一、中山　公男、長谷川　康博、三上　幸範
埼玉県	内田　省三、小林　一夫、栗田　隆広
麻生セメント（株）	甲斐　吉三郎、堤　博文
	大川　順一（H13.5まで）、吉瀬　寛（H13.7まで）
住友大阪セメント（株）	小林　茂広、本田　優、酒木　哲也
太平洋セメント（株）	富田　六郎、横山　滋、石川　雄康、田中　敏嗣、吉本　稔
	平尾　宙、長塩　靖祐、山下　裕毅、石田　征男、早川　隆之
	尾花　博、福永　俊美、羽山　雅仁
	高野　幸男（H12.11まで）、須田　重雄（H12.6まで）、月崎　信和（H12.8まで）
	宇田川　延範（H12.8まで）、熊澤　憲一（H12.8まで）、江里口　玲（H13.3まで）
日立セメント（株）	木村　正尚、高橋　一男、椎野　宏明

共同研究委員会名簿

委員長	三木　博史	独立行政法人土木研究所　材料地盤研究グループ長
	苗村　正三	国土交通省土木研究所　材料施工部長（H13.3まで）
委員	明嵐　政司	独立行政法人土木研究所　材料地盤研究グループ　上席研究員
	河野　広隆	独立行政法人土木研究所　技術推進本部　主席研究員
	杉本　隆男	東京都土木技術研究所　技術部長
	関谷　英夫	東京都土木技術研究所　技術部長（H13.3まで）
	土井内　元	東京都土木技術研究所　技術部長（H12.3まで）
	鹿乂　和夫	東京都建設局　総務部　技術管理課長
	山﨑　伸郎	東京都建設局　総務部　技術管理課長（H12.7まで）
	山根　修	東京都環境局　廃棄物対策部　副参事（廃棄物技術担当）
	元吉　勇	東京都清掃局　環境指導部　市町村技術指導担当課長（H12.3まで）
	島田　光止	東京都三多摩地域廃棄物広域処分組合　参事
	片岡　止造	東京都三多摩地域廃棄物広域処分組合　参事（H12.7まで）
	田中　裕行	千葉県環境生活部　一般廃棄物課　副課長
	中山　公男	千葉県土木部　技術管理課　主幹
	内田　省三	埼玉県県土整備部　技術管理課　主幹
	甲斐吉三郎	麻生セメント㈱中央研究所　取締役所長
	堤　博文	麻生セメント㈱中央研究所　主任研究員
	大川　順	麻生セメント㈱中央研究所　常務取締役所長（H13.5まで）
	小林　茂広	住友大阪セメント㈱ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ研究所　副所長
	酒木　哲也	住友大阪セメント㈱ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ研究所　企画ｸﾞﾙｰﾌﾟﾁｰﾑﾘｰﾀﾞｰ
	富田　六郎	太平洋セメント㈱中央研究所　第1研究部長
	横山　滋	太平洋セメント㈱中央研究所　第1研究部　ｴｺｾﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	高野　幸男	太平洋セメント㈱中央研究所　ﾃｸﾉﾛｼﾞｰﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ　ｾﾞﾈﾗﾙﾏﾈｰｼﾞｬｰ（H12.11まで）
	木村　止尚	日立セメント㈱　取締役研究開発部長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	人見　孝	神奈川県環境農政部　廃棄物対策課　広域化推進班　主任技師
	奥津喜久雄	神奈川県環境農政部　廃棄物対策課　広域化推進班　主査（H13.3まで）
	畑澤　智	横浜市環境事業局　施設部　廃棄物資源開発室長
	井原　岩夫	千葉県環境生活部　一般廃棄物課　副課長（H13.3まで）
	植村　清美	千葉県土木部　技術管理指導課　副主幹（H13.3まで）
	重原　俊朗	千葉県土木部　技術管理指導課　副主幹（H13.3まで）
	小林　一夫	埼玉県土木部　技術管理室　技術管理担当　主査（H13.3まで）
	柳　四郎	埼玉県土木部　建設管理課　技術管理担当　主査（H12.3まで）
事務局	金井　浩	（財）土木研究センター　研究開発四部
	鷹取　勲	（財）土木研究センター　研究開発四部長（H13.3まで）
	坂本　浩行	（財）土木研究センター　調査試験二部長（H12.3まで）

共同研究幹事会名簿

幹事長	明嵐　政司	独立行政法人土木研究所　材料地盤研究グループ　上席研究員
幹　事	河野　広隆	独立行政法人土木研究所　技術推進本部　主席研究員
	中村　俊彦	独立行政法人土木研究所　材料地盤研究グループ　主任研究員
	寺田　剛	建設省土木研究所　材料施工部　化学研究室　研究員（H12.3まで）
	鈴木　勲	東京都土木技術研究所　技術部　主任研究員
	宍戸　薫	東京都土木技術研究所　技術部　主任研究員
	北橋　伸一	千葉県環境生活部　一般廃棄物課　主査
	長谷川康博	千葉県土木部　技術管理課　副主幹
	三上　幸範	千葉県土木部　技術管理課　副主幹
	小林　一夫	埼玉県県土整備部　技術管理課　技術管理担当　主査
	栗田　隆広	埼玉県県土整備部　技術管理課　技術管理担当　技師
	堤　博文	麻生セメント㈱中央研究所　主任研究員
	吉瀬　寛	麻生セメント㈱中央研究所　主任研究員（H13.7まで）
	本田　優	住友大阪セメント㈱生産技術部　品質保証ｸﾞﾙｰﾌﾟﾘｰﾀﾞｰ
	酒木　哲也	住友大阪セメント㈱ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ研究所　企画ｸﾞﾙｰﾌﾟﾁｰﾑﾘｰﾀﾞｰ
	富田　六郎	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部長
	横山　滋	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｴｺｾﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ
	石川　雄康	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｺﾝｸﾘｰﾄ製品ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ
	田中　敏嗣	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｴｺｾﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ　主席研究員
	吉本　稔	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｺﾝｸﾘｰﾄ製品ｸﾞﾙｰﾌﾟ　主席研究員
	石田　征男	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｴｺｾﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ
	尾花　博	太平洋セメント㈱ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ事業部　担当部長
	福永　俊美	太平洋セメント㈱ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ事業部　事業推進ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ
	羽山　雅仁	太平洋セメント㈱技術営業部　技術ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ
	高野　幸男	太平洋セメント㈱中央研究所　ﾃｸﾉﾛｼﾞｰﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ　ｾﾞﾈﾗﾙﾏﾈｰｼﾞｬｰ（H12.11まで）
	下山　善秀	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｺﾝｸﾘｰﾄ製品ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ（H13.3まで）
	須田　重雄	太平洋セメント㈱中央研究所　第１研究部　ｺﾝｸﾘｰﾄ製品ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ（H12.6まで）
	月崎　信和	太平洋セメント㈱ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ事業部　事業推進ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ（H12.8まで）
	熊澤　憲一	太平洋セメント㈱ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ事業部　事業推進ｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾁｰﾑｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ（H12.8まで）
	宇田川延範	太平洋セメント㈱ｾﾞﾛｴﾐｯｼｮﾝ事業部　ﾘｻｲｸﾙｸﾞﾙｰﾌﾟ　ﾘｰﾀﾞｰ（H12.8まで）
	高橋　一男	日立セメント㈱研究開発部　技術ｻｰﾋﾞｽ課　課長
	椎野　宏明	日立セメント㈱研究開発部　研究開発課　課長
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	人見　孝	神奈川県環境農政部　廃棄物対策課　広域化推進班　主任技師
	奥津喜久雄	神奈川県環境農政部　廃棄物対策課　広域化推進班　主査（H13.3まで）
	畑澤　智	横浜市環境事業局　施設部　廃棄物資源開発室長
	井原　岩夫	千葉県環境生活部　一般廃棄物課　副課長（H13.3まで）
	植村　清美	千葉県土木部　技術管理指導課　副主幹（H13.3まで）
	重原　俊朗	千葉県土木部　技術管理指導課　副主幹（H13.3まで）
	小林　一夫	埼玉県土木部　技術管理室　技術管理担当　主査（H13.3まで）
	野口　瑞子	埼玉県土木部　技術管理室　技術管理担当　技師（H13.3まで）
	柳　四郎	埼玉県土木部　建設管理課　技術管理担当　主査（H12.3まで）
事務局	金井　浩一	（財）土木研究センター　研究開発四部
	鷹取　勲	（財）土木研究センター　研究開発四部長（H13.3まで）
	坂本　浩行	（財）土木研究センター　調査試験二部長（H12.3まで）

目　次

1　研究概要 …… 1

1.1　研究背景および目的 …… 1

1.2　本研究で対象とするエコセメントの定義 …… 1

1.3　研究計画 …… 2

2　普通エコセメント …… 3

2.1　普通エコセメントの生産量 …… 3

2.2　普通エコセメントの適用範囲と需要の見通し …… 3

2.3　普通エコセメントの品質 …… 5

3　普通エコセメントのレディーミクストコンクリートへの適用性に関する研究 …… 9

3.1　実験概要 …… 9

3.2　フレッシュコンクリートの試験結果 …… 17

3.3　強度試験結果 …… 23

3.4　耐久性試験結果 …… 29

3.5　屋外暴露したコンクリート硬化体の分析結果 …… 37

3.6　３章のまとめ …… 40

4　普通エコセメントのコンクリート製品への適用性に関する研究 …… 42

4.1　設計強度と製造方法による製品の分類と適用範囲 …… 42

4.2　実験概要 …… 44

4.3　フレッシュコンクリートの試験結果 …… 49

4.4　強度試験結果 …… 51

4.5　促進耐久性試験結果 …… 55

4.6　暴露による耐久性試験結果 …… 64

4.7　４章のまとめ …… 72

5　普通エコセメントおよび普通エコセメント硬化体の微量成分溶出に関する研究 …… 74

5.1　はじめに …… 74

5.2　普通エコセメント粉末の微量成分含有量および溶出量に関する試験 …… 74

5.3　普通エコセメントを用いたモルタル硬化体の溶出試験 …… 78

5.4　普通エコセメントを用いたコンクリート硬化体の溶出試験 …… 80

5.5　長期材齢における普通エコセメントを用いたコンクリートの溶出試験 …… 82

5.6　アベイラビリティー試験およびタンクリーチング試験による溶出特性の評価 …… 85

5.7　５章のまとめ …… 93

6　普通エコセメントを用いた鉄筋コンクリートの力学性状 …… 94
6.1　はじめに …… 94
6.2　普通エコセメントを用いたコンクリートの鉄筋付着強度試験 …… 94
6.3　普通エコセメントを用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ・せん断性状 ……100
6.4　6章のまとめ ……106
7　普通エコセメントを用いたコンクリートの試験施工 ……107
7.1　はじめに ……107
7.2　普通エコセメントを用いたレディーミクストコンクリートの試験施工 ……108
7.3　普通エコセメントを用いた工場製品の試験施工 ……137
7.4　7章のまとめ ……147
8　普通エコセメントを用いたコンクリートの塩化物イオン量の検査方法の研究 ……149
8.1　はじめに ……149
8.2　実験概要 ……149
8.3　普通エコセメント中の塩化物イオンの溶出特性 ……151
8.4　塩化物イオン量の検査方法の提案 ……153
8.5　8章のまとめ ……153
9　まとめ ……154

写真編 ……157
資料編 ……163

1　研究概要

1.1　研究背景および目的

都市ごみ焼却灰や下水汚泥など生活廃棄物の処分方法や処分場の確保が非常に大きな社会問題となっている。これらの生活廃棄物を主原料として製造される「エコセメント」の生産技術が開発され、建設資材としての活用が図られることにより資源循環型社会の構築に寄与できるものと期待される。

エコセメントは当初、廃棄物原料に含まれる塩化物イオンをクリンカー鉱物として利用した、速硬性を有するセメントとして開発された。したがって、硬化性状や塩分の含有のためその用途が限られていた。その後、製造技術の進展により、塩化物イオン量を0.1%以下に低減した「普通エコセメント」の製造が可能となり、鉄筋コンクリートへの適用の可能性が視野に入ってきた。鉄筋コンクリートへの適用が可能となれば、大幅な用途拡大につながるものと期待される。

本共同研究は、低塩素化された普通エコセメントを取り上げ、その品質性状、安全性、施工性および耐久性を明らかにすることにより、一般的なコンクリートとしての利用すなわちレディーミクストコンクリートおよび工場製品としての適用性を評価し、鉄筋コンクリート材料としての活用方法を明確にすることを目的として実施したものである。

1.2　本研究で対象とするエコセメントの定義

平成14年7月にJIS R 5214「エコセメント」が制定され、エコセメントとは、都市ごみを焼却した際に発生する灰を主とし、必要に応じて下水汚泥などの廃棄物を従としてエコセメントクリンカーの原料に用い、製品1トンにつきこれらの廃棄物を乾燥ベースで500キログラム以上使用してつくられるセメントと定義された。エコセメントはその特徴によって次の2種に大別される。

本研究では普通エコセメントを対象とした。

(1) 普通エコセメント

エコセメントの製造過程で脱塩素化させ、塩化物イオン量がセメント質量の0.1%以下で、普通ポルトランドセメントに類似する性質を持つもの。

(2) 速硬エコセメント

都市ごみ焼却灰に含まれる塩素成分を積極的に利用し、速硬性の高いカルシウムクロロアルミネート($C_{11}A_7 \cdot CaCl_2$)として塩素を固定させたものである。塩化物イオン量は、セメント質量の0.5以上1.5%以下であり、主として無筋コンクリートに利用されるもの。

1.3 研究計画

本共同研究は、平成11年度から平成13年度までの３年間に渡り、表1-1に示す計画に沿って実施した。

表 1-1 研究全体計画

研究項目	研究細目	研究分担			年次計画		
		土研	自治体	民間	11年	12年	13年
1. 開発目標の設定	1) 開発目標の設定	◎	○	○	―		
2. 評価方法に関する研究	1) 評価試験方法の検討	◎	◎	○	―		
3. 普通エコセメントの開発・評価および利用技術の開発	1) ｴｺｾﾒﾝﾄの開発・改良	○	○	◎	―	―	―
	2) 性状・安全性評価試験	◎	○	○	―	―	―
	3) 適用場所の検討	◎	○	○	―	―	―
	4) 利用技術の開発	◎	◎	◎		―	―
4. 試験施工	1) 試験施工計画の作成		◎	○	―	―	―
	2) 試験施工		◎	○	―	―	―
	3) 追跡試験	○	◎	○	―	―	―
5. 研究成果のとりまとめ	1) 利用技術マニュアルの作成	◎	◎	○			―
	2) 研究成果のとりまとめ	○	○	○		―	―

2　普通エコセメント

2.1　普通エコセメントの生産量

千葉県のエコタウンプランでは、エコセメント事業をその中核事業として位置付け、平成 13 年 3 月には千葉県市原市に年間 11 万トンの普通エコセメント生産能力を有するエコセメント製造施設が完成し、周辺自治体から排出される都市ごみ焼却灰等の一般廃棄物、汚泥等の産業廃棄物を受け入れて普通エコセメントの生産が開始された。平成 13 年度における普通エコセメントの生産量の実績値は 4.1 万トンであり、平成 14 年度には約 8.4 万トンの普通エコセメントが生産される見込みである。

東京都においては、多摩地域 25 市 1 町にて構成される東京都三多摩地域廃棄物広域処分組合により、多摩地区全市町村のごみ焼却施設から排出される焼却灰全量（年間約 9.3 万トン）の処理が可能なエコセメント製造施設の建設が計画されている。平成 17 年度末に完成し、平成 18 年度以降年間約 13 万トンの普通エコセメントが生産される見込みである。

2.2　普通エコセメントの適用範囲と需要の見通し

2.2.1　普通エコセメントの適用範囲

普通エコセメントは、普通ポルトランドとほぼ同等の品質を有しており、普通エコセメントを用いたコンクリートの諸性質も普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等である。したがって普通エコセメントの用途は、無筋・鉄筋コンクリートを問わず、普通ポルトランドセメントと同様の用途に使用することが可能である。ただし，普通エコセメントを高強度もしくは高耐久性のコンクリートに適用する場合は，単位セメント量の増加にともなって，コンクリート中の塩化物イオン総量が増加することおよびこれまでの使用実績が少なく十分なデータが蓄積されていないため，使用する際には注意が必要である。以下にこれまでに普通エコセメントを使用して行われた施工例を示す。

表 2-1　普通エコセメントの適用例

コンクリートの種類		構造物および製品の種類
鉄筋コンクリート	現場打ち	擁壁
	プレキャスト製品	道路用鉄筋コンクリートL形側溝，道路用上ぶた式U形側溝
無筋コンクリート	現場打ち	園路舗装，擁壁，消波ブロック
	プレキャスト製品	道路用境界ブロック，積みブロック， インターロッキングブロック，道路用コンクリートL形側溝
捨てコンクリート等		捨てコンクリート

2.2.2　セメントの需要見通し

エコセメントをコンクリート材料として適用する上での技術的な検討は後述のごとくであるが、これと並行して、エコセメントの需要と供給の調査を行い、エコセメントを普通コンクリートと同等の供給体制の中で運営できる需要環境を調査した。

調査は、本共同研究に参画した地方自治体（埼玉県、千葉県、東京都）におけるセメント使用量を

生コンクリートとコンクリート製品類に分けて推計した。生コンクリートでのセメント使用量は、全国生コンクリート工業組合連合会、全国生コンクリート協同組合連合会から公表されている出荷実績表[2-1]をもとに、官公全体需要と民間需要に分けて調査した。さらに各生コンクリート協組等からの聞き取り調査から、官公全体需要に占める都県発注工事の割合を算出し、各々のセメント使用量を算出した。なお、セメント使用量は、生コンクリート1㎥当たり300kg使用するものとして概算した。推計結果を表2-2に示す。

次に、コンクリート製品等でのセメント消費量を、製品協同組合、インターロッキングブロック舗装技術協会、コンクリートブロック協会への聞き取り調査から、官公全体需要、都県発注工事需要および民間需要について推計した。推計結果を表2-3に示す。なお、埼玉県と東京都においては、各協会等への聞き取り調査ができなかったため、千葉県の実数を参考に生コンクリートでのセメント使用量に対する製品でのセメント使用量の比率およびその内訳比率を算出して、セメント使用量を推定した。

以上のセメント需要推計をまとめたものが表2-4である。この表から、都県レベルでのセメント使用量は、埼玉県で約13.6万トン、千葉県で約28.8万トン、東京都で42.4万トンとなっている。ここで都県需要には、都県の土木、上下水道、交通、港湾、建築、営繕等をすべて合算した需要量である。また、都県発注工事の中には、道路橋床版など高耐久性を要求されるコンクリート工事や高強度オートクレーブ養生を施すコンクリート製品も含まれているため、エコセメントを適用できる需要先としては、この数値より若干少なくなるものと考えられる。参考のため表2-4にはエコセメントを生産する自治体でその供給先を自区内に求めた場合の比率を示した。例えば、千葉県では県発注工事の約40%に、東京都では都発注工事の約30%にエコセメントを適用しなければ、需要と供給のバランスがとれないことになる。

以上のことから、今後エコセメントの需要先として、都県単独の工事以外の官公庁発注工事、民間の建築工事などにも用途先として広がることが期待される。エコセメントの利用促進を図るためには、レディーミクストコンクリートやプレキャストコンクリート製品の関連JIS規格に、エコセメントの使用が認められることが必要である。これと並行して、各自治体で基準化している「材料仕様書」等へ記載し、自治体独自の判断でエコセメントを使用できる体制づくりも必要である。

表 2-2　東京都・埼玉県・千葉県における生コン出荷量とセメント需要量推計

県名	生コン出荷量		総出荷量	出荷内訳			セメント使用量	内訳		
	全生連	組合以外		官公全体需要	都県需要内数	民間需要		官公全体需要	都県需要内数	民間需要
	千㎥	千㎥	千㎥	千㎥	千㎥	千㎥	千トン	千トン	千トン	千トン
埼玉	4,563	618	5,181	2,282	(329)	2,900	1,554	685	(99)	869
千葉	3,959	927	4,886	1,689	(869)	3,197	1,466	507	(261)	959
東京	11,087	2,808	13,895	4,734	(1,159)	9,161	4,169	1,420	(348)	2,749
計	19,609	4,353	23,962	8,705	(2,357)	15,257	7,188	2,612	(708)	4,577

表 2-3　東京都・埼玉県・千葉県における生コン以外でのセメント需要量推計

県名	生コンでのｾﾒﾝﾄ使用量	内訳			製品等でのｾﾒﾝﾄ使用量	内訳		
		官公全体需要	都県需要内数	民間需要		官公全体需要	都県需要内数	民間需要
	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ
埼玉	1,554	685	(99)	869	111	91	(37)	20
千葉	1,466	507	(261)	959	90	68	(27)	22
東京	4,169	1,420	(348)	2,749	251	189	(76)	62
計	7,189	2,612	(708)	4,577	452	348	(140)	104

表 2-4　東京都・埼玉県・千葉県におけるセメント需要量推計

県名	内訳			計	千葉、東京における エコセメントの占める割合				備考
	官公全体需要	都県需要内数	民間需要		官公全体需要	都県需要内数	民間需要	計	
	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	千ﾄﾝ	%	%	%	%	
埼玉	776	(136)	889	1,665	－	－	－	－	
千葉	575	(288)	981	1,556	19%	38%	11%	7%	市原ｴｺ(110 千ﾄﾝ)の比
東京	1,609	(424)	2,811	4,420	8%	31%	5%	3%	三多摩ｴｺ(130 千ﾄﾝ)の比
計	2,960	(848)	4,681	7,641	－	－	－	－	

2.3　普通エコセメントの品質

2.3.1　エコセメントの性質

エコセメントは、都市ごみ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料として製造するセメントであり、廃棄物を再資源化および無害化するものである。平成 14 年 7 月に制定された JIS R 5214「エコセメント」では、脱塩素化技術によって塩化物イオン量をセメント質量の 0.1%以下に低減し、普通ポルトランドセメントと類似する性質を持つものは「普通エコセメント」と定義されている。

普通エコセメントの化学成分、鉱物組成および物理的性質の例をそれぞれ表 2-5、表 2-6 および表 2-7 に示す。以下に普通エコセメントの化学的性質および物理的性質の特徴をそれぞれ示す。

化学的性質

① 塩化物イオン量の実績値が 0.05%程度と普通ポルトランドセメントの JIS 規格上限値(0.02%)よりも多い。

② SO_3 量が 4.0%程度と普通ポルトランドセメントの JIS 規格上限値（3.0%）より多い。

③ 普通ポルトランドセメントよりカルシウムシリケート系鉱物（C_3S、C_2S）が少なく、カルシウムアルミネート系鉱物（C_3A、C_4AF）が多い。

物理的性質

① 比表面積が普通ポルトランドセメントよりも大きい。

② 普通エコセメントの構成鉱物は、普通ポルトランドセメントと同じ C_3S、C_2S、C_3A、C_4AF であり、その物理性状は、普通ポルトランドセメントとほぼ同様の性能を示す。

表 2-5　普通エコセメントの化学成分例

セメント種類	化学成分（%）									
	ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl^-
普通エコセメント	1. 05	16. 95	7. 96	4. 40	61. 04	1. 84	3. 86	0. 28	0. 02	0. 053
普通ポルトランドセメント	0. 50	21. 92	5. 31	3. 10	65. 03	1. 40	2. 00	0. 31	0. 48	0. 006

表 2-6　普通エコセメントの鉱物組成例

セメント種類	鉱物組成（%）			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
普通エコセメント	49	12	14	13
普通ポルトランドセメント	53	23	8	10

表 2-7　普通エコセメントの物理的性質例

セメント種類	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	凝結（h:min）		圧縮強さ（N/mm^2）		
			始発	終結	3 日	7 日	28 日
普通エコセメント	3. 18	4100	2:21	3:29	24. 9	35. 2	52. 4
普通ポルトランドセメント	3. 16	3240	2:15	3:20	27. 2	43. 9	60. 3

2. 3. 2　普通エコセメントの品質変動

エコセメントの製造工程では、都市ごみ焼却灰等に石灰石などの天然原料を補充して一定の化学成分になるよう調合したものを焼成窯（キルン）にて焼成してクリンカーを製造する。そのクリンカーを石こうと混合粉砕しエコセメントに仕上げる。現在、千葉県市原市の工場で生産されている普通エコセメントの品質例として、化学成分を表 2-8 に、鉱物組成を表 2-9 に、物理的性質を表 2-10 に示す。また、平成 13 年 10 月～11 月にかけて製造された普通エコセメントの塩化物イオン量、比表面積および圧縮強さの変動をそれぞれ図 2-1～図 2-3 に示す。いずれの項目についても変動は小さく、品質の安定したエコセメントの製造が行われていることを示している。

表 2-8　普通エコセメントの化学成分（n=10）

	化学成分（%）												
	ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cl^-
平均値	1. 08	17. 49	7. 33	4. 36	61. 10	2. 00	3. 71	0. 39	0. 01	0. 68	1. 10	0. 10	0. 040
最大値	1. 17	17. 61	7. 38	4. 59	61. 48	2. 04	3. 92	0. 44	0. 01	0. 71	1. 19	0. 10	0. 042
最小値	0. 96	17. 42	7. 27	4. 16	60. 83	1. 96	3. 52	0. 34	0. 01	0. 65	1. 00	0. 09	0. 035
標準偏差	0. 06	0. 07	0. 04	0. 14	0. 19	0. 02	0. 15	0. 03	0. 00	0. 02	0. 06	0. 01	0. 002

表 2-9　普通エコセメントの鉱物組成（n=10）

	鉱物組成（%）			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
平均値	50	13	12	13
最大値	52	14	13	14
最小値	49	11	12	13
標準偏差	1. 0	0. 8	0. 3	0. 4

表 2-10　普通エコセメントの物理的性質（n=10）

	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)	凝結（h:min）			圧縮強さ (N/mm^2)		
			水量(%)	始発	終結	3日	7日	28日
平均値	3.18	4191	29.1	2:09	3:09	30.4	40.7	53.0
最大値	3.19	4360	29.5	2:20	3:20	32.0	41.2	55.0
最小値	3.18	4030	28.9	2:00	2:50	28.6	39.0	50.4
標準偏差	－	111	－	0:06	0:09	1.1	0.8	1.3

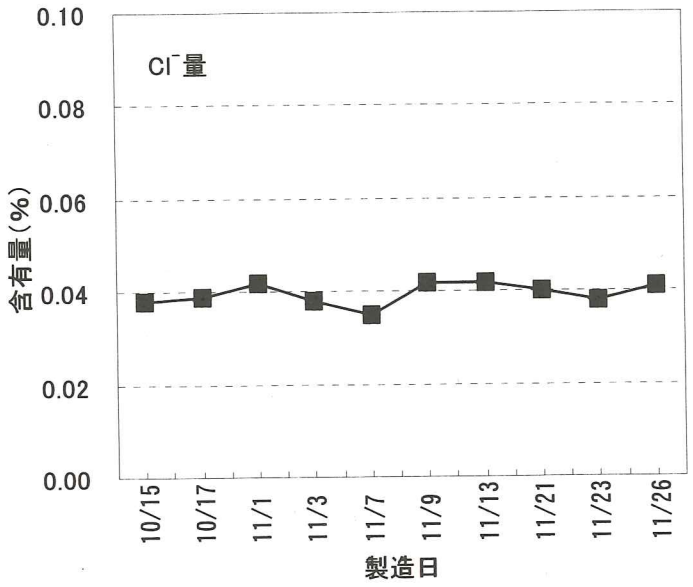


図 2-1　普通エコセメント中の Cl^- 量の変動

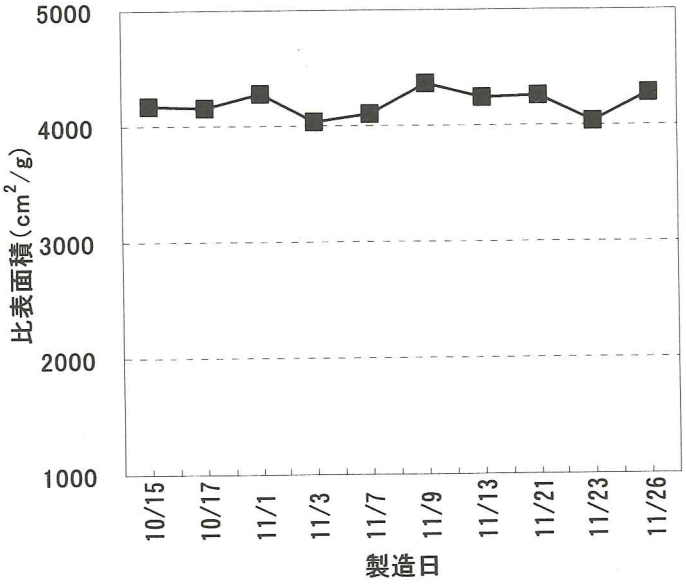


図 2-2　普通エコセメントの比表面積の変動

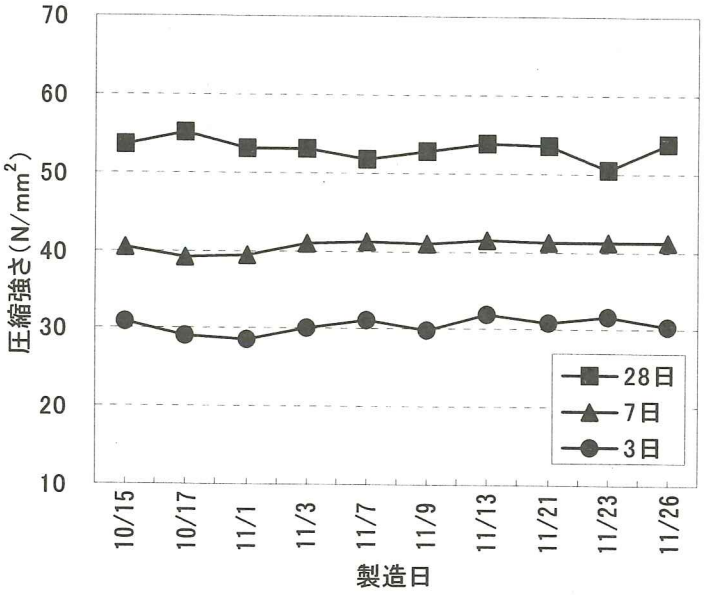


図 2-3　普通エコセメントの圧縮強さの変動

［参考文献］

2-1)　http:/www.zennama.or.jp/3-toukei/nenji/index.html

2-2)　JIS R 5214「エコセメント」：日本規格協会発行、2002.7

3　普通エコセメントのレディーミクストコンクリートへの適用性に関する研究

3.1　実験概要

3.1.1　実験計画

普通エコセメントを使用したコンクリートの基本特性の把握を目的として、普通エコセメント（記号；E）を使用したコンクリートの諸性状について試験を行った。また、普通ポルトランドセメント（記号；N）および高炉セメントB種（記号；B）を用いた場合についても試験を行い、比較、検討を行った。実験概要を表3-1に示す。本研究においては新潟県親不知および茨城県つくば市において屋外暴露試験を実施し（写真編　写真3-1および表3-2参照）、実供用環境におけるコンクリートの性状について検討を行った。ただし、表3-1中に示す試験項目のうち重金属類の溶出試験の詳細については5章に記載する。

表3-1　実験概要

セメント種類						E						N						B					
水セメント比(%)						45		55		65		45		55		65		45		55		65	
スランプ(cm)						8	18	8	18	8	18	8	18	8	18	8	18	8	18	8	18	8	18
空気量(%)						4.5						4.5						4.5					
混和剤の種類						AE減水剤（標準形）						AE減水剤（標準形）						AE減水剤（標準形）					
養生方法						標準養生						標準養生						標準養生					
フレッシュ性状	スランプ	室内	JIS A 1101	20℃	H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				10, 20, 30℃	H13	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	空気量	室内	JIS A 1128		H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	経時変化	室内	静置法により90分まで		H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ブリーディング	室内	JIS A 1123		H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	凝結	室内	JIS A 1147		H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
硬化性状 強度性状	圧縮強度	室内	JIS A 1108	標準養生	H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				水中養生(10, 20, 30℃)	H13	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	静弾性係数	室内	JIS A 1149	標準養生	H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	曲げ強度	室内	JIS A 1106	標準養生	H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	引張強度	室内	JIS A 1113	標準養生	H11	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
硬化性状 耐久性状	乾燥収縮	室内	JIS A 1129		H11	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
	凍結融解	促進	JIS A 1148		H11	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
	中性化	促進	温度：20℃ 湿度：60% CO_2濃度：5%	前養生期間(14日, 28日)	H11	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
				−	H12	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	−	−	−	−	−	−
	鉄筋の発錆	促進	JCI SC-2		H11	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
		促進	JCI SC-3		H12	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		暴露	親不知、つくば市		H12	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	アルカリ骨材反応	室内	JIS A 1146		H13	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
断熱温度上昇量*		室内	空気循環式断熱温度上昇量装置		H11	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
重金属類溶出試験		室内	製造日の異なる2種類のエコセメントR材(0%、1%)	環告46号法 タンクリーチング法 アベイラビリティー法	H13	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		暴露	親不知、つくば市	環告46号法	H11	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
細孔径分布		暴露	親不知、つくば市	水銀圧入法 ポロシメータ	H11	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
塩化物イオン量		暴露	親不知、つくば市	電位差滴定法	H11	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−
EPMA面分析		暴露	親不知		H11	−	−	○	−	−	−	−	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−	−

＊ 単位セメント量を固定して試験を実施した。

3.1.2 使用材料

本研究では、試験を実施した年度や試験項目によって使用した骨材の産地およびセメントのロットが異なる。表 3-2 に使用材料を試験実施年度ごとに示す。ただし、アルカリ骨材反応試験では、実際に JIS A 1146 により“無害でない”と判定された 2 種類の細骨材を使用し、アルカリ骨材反応の抑制効果を普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較した。表 3-3 および表 3-4 に使用したセメントの化学成分および物理的性質を、表 3-5 に骨材の物理的性質をそれぞれ示す。

表 3-2　使用材料

使用材料	試験実施年度	産地／銘柄
セメント	H11	普通エコセメント（太平洋セメント㈱社製） 普通ポルトランドセメント（太平洋セメント㈱社製） 高炉セメント B 種（太平洋セメント㈱社製）
	H12	普通エコセメント（太平洋セメント㈱社製） 普通ポルトランドセメント（太平洋セメント㈱社製）
	H13	普通エコセメント（市原エコセメント㈱社製） 普通ポルトランドセメント（太平洋セメント㈱社製）
細骨材	H11～H13	静岡県小笠郡浜岡町産陸砂
	H13 アルカリ骨材反応性試験	安山岩（2 種類） JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」による試験の結果“無害でない”と判定された骨材
粗骨材	H11	埼玉県秩父郡両神村産砕石
	H12～H13	茨城県西茨城郡岩瀬町産砕石
AE 減水剤	H11～H13	リグニンスルフォン酸系 AE 減水剤 （ポゾリス No. 70、エヌエムビー社製）
AE 剤	H11～H13	アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン表面活性剤 （マイクロエア 303A、エヌエムビー社製）

表 3-3　セメントの化学成分

セメント種類	試験実施年度	化学組成（%）								
		ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	Cl^-
E	H11	0.3	17.7	8.3	4.0	61.5	1.9	3.7	0.3	0.04
	H12	1.1	17.8	7.2	4.1	61.1	1.8	3.9	0.3	0.05
	H13	1.3	17.4	7.2	4.1	60.5	2.1	3.8	0.4	0.06
N	H11	0.6	22.2	5.1	3.2	65.1	1.4	2.0	0.7	0.00
	H12	2.4	21.5	4.9	2.8	64.6	1.2	2.0	0.6	0.01
	H13	1.9	21.1	1.9	2.6	63.7	1.6	2.0	0.6	0.01
B	H11	0.5	25.4	8.2	1.9	55.3	3.4	1.7	0.5	0.00

表 3-4　セメントの物理的性質

試料	試験実施年度	密度 (g/cm³)	粉末度 比表面積 (cm²/g)	安定性	凝結 水量 (%)	凝結 始発 (h-m)	凝結 終結 (h-m)	圧縮強さ (N/mm²) 3d	7d	28d
E	H11	3.19	4,480	良	30.2	2-55	4-20	25.9	36.7	50.4
	H12	3.19	4,130	良	31.2	2-40	4-10	28.8	36.3	51.2
	H13	3.17	4,180	良	29.8	2-00	3-30	31.2	41.4	56.3
N	H11	3.16	3,370	良	27.4	2-10	3-25	26.4	43.6	61.6
	H12	3.15	3,490	良	26.9	2-20	3-10	28.2	43.4	59.0
	H13	3.16	3,270	良	27.6	2-25	3-30	27.6	44.1	60.3
B	H11	3.04	4,120	良	28.9	2-40	4-15	20.8	34.4	59.8

表 3-5　骨材試験結果

	骨材の産地および種類	試験実施年度	最大寸法 (mm)	表乾密度 (g/cm³)	吸水率 (%)	粗粒率
細骨材	静岡県小笠郡浜岡町産陸砂	H11	5	2.59	1.68	2.73
		H12	5	2.59	1.52	2.91
		H13	5	2.59	1.63	2.88
粗骨材	埼玉県秩父郡両神村産砕石	H11	20	2.72	0.45	6.65
	茨城県西茨城郡岩瀬町産砕石	H12	20	2.63	0.79	6.91
		H13	20	2.64	0.81	7.15

3.1.3　試験方法

(1) フレッシュ性状

①スランプ、空気量および経時変化試験

スランプ試験および空気量試験はそれぞれ JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従った。

経時変化試験は静置法によりスランプおよび空気量の測定を行い、測定時間は排出直後、15 分、30 分、60 分、90 分とした。

また、平成 13 年度には、エコセメントコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす環境温度の影響を調べるために、環境温度が 10、20、30℃のそれぞれの場合について、スランプ試験を実施した。

②ブリーディング試験

ブリーディング試験は JIS A 1123：1997「コンクリートのブリーディング試験方法」に従った。

③凝結試験

凝結試験は JIS A 1147：2001「コンクリートの凝結試験方法」に従った。

④断熱温度上昇量試験

空気循環式断熱温度上昇量測定装置を使用して材齢 14 日まで測定を行った。また、試験はセメント種類に関らず、単位セメント量を同一として実施した。

(2) 強度性状

①圧縮強度試験

圧縮強度試験はJIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従った。

平成 11 年度は、エコセメントコンクリートの圧縮強度に及ぼす水セメント比の影響を明らかにすること目的として、水セメント比を45、55、65％とし、試験材齢まで標準養生した場合について普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と比較した。

平成 13 年度は、エコセメントコンクリートの圧縮強度に及ぼす養生温度の影響を調べることを目的として、養生温度を10、20、30℃とした場合の圧縮強度発現性を同一水セメント比の普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較した。

なお、試験材齢は、平成11年度の試験では、3、7、14、28、91日、6ヶ月、1年および2年とした。また、平成13年度の試験においては試験材齢を3、7、28、56、91日とした。

②静弾性係数試験

静弾性係数試験はJIS A 1149：2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」に従ってコンプレッソメータを用いて行い、試験材齢は、3、7、14、28、91日、6ヶ月、1年および2年とした。

③曲げ強度試験

曲げ強度試験は JIS A 1106：1999「コンクリートの曲げ強度試験方法」に従い、試験材齢は 28 日とした。

④引張強度試験

引張強度試験はJIS A 1113：1999「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に従い、試験材齢は28日とした。

(3) 耐久性

①乾燥収縮試験

乾燥収縮試験はJIS A 1129-2：2001「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法　第2部コンタクトゲージ法」に従った。

②凍結融解試験

凍結融解試験はJIS A 1148：2001「コンクリートの凍結融解試験方法」に従い、試験を終了するサイクル数は200サイクルとした。

③中性化試験

中性化試験は、日本建築学会　高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説「付録1　コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠して平成11年度および12年度に実施した。平成11年度は、前養生条件が中性化性状に及ぼす影響を調べることを目的として、水セメント比が55%の供試体を使用し、水中養生の期間を28日および14日とした場合について中性化試験を実施した。また、平成 12 年度は、圧縮強度および硬化体の緻密度がエコセメントコンクリートの中性化性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、水セメント比が45、55、65％のエコセメントコンクリートについて材齢 28 日圧縮強度および硬化体空隙率を測定し、中性化速度係数との関係を調べた。硬化体空隙率の測定は、中性化試験後の供試体より、未中性化部分の試料を採取し、水銀圧入式ポロシメータを使用して行った。

④鉄筋の腐食試験

鉄筋の腐食試験として、促進試験および暴露試験を行った。

促進試験は、JCI-SC2「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－オートクレーブ法－」（平成 11 年度）および JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－乾湿繰返し法－」（平成 13 年度）のそれぞれを参考にして実施した。ただし、本試験はセメント種類の違いがコンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼす影響を調べることを目的としているため、乾湿繰返し法による試験では、十分な水和反応が行われるよう材齢 28 日まで標準養生を行った。

暴露試験は、供試体の暴露場所を土木研究所暴露試験所（茨城県つくば市）および新潟県親不知の 2 箇所とし、試験材齢を 1、2、3 年および 5 年以上とした。供試体の暴露状況を写真編に示す。

試験に使用した供試体は、オートクレーブ法ではφ10×20cm の円柱供試体中にかぶり厚さ 20mm の位置に鉄筋を配置したものとし、乾湿繰り返し法および暴露試験では、図 3-1 に示す角柱供試体中にかぶり厚さ 10mm および 20mm の位置に鉄筋を配置し、かぶり厚さ方向以外の 4 面をエポキシ接着剤によりシールしたものとした。

⑤アルカリ骨材反応試験

アルカリ骨材反応性試験は JIS A 1146「骨材のアルカリ骨材反応性試験方法（モルタルバー法）」を参考にして行った。ただし、本試験は普通エコセメントのアルカリ骨材反応の抑制効果を評価することを目的としているため、骨材には“無害でない”と判定された細骨材を使用し、普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントともにセメント中のアルカリ量の調整は行わなかった。

(4) 屋外に暴露したコンクリート硬化体の分析

供用環境下における硬化体性状の変化を確認することを目的として、屋外に暴露したエコセメントコンクリートの空隙構造、化学成分および塩化物イオンの浸透状況の測定を行った。測定は、それぞれ水銀圧入式ポロシメータ、EPMA 面分析および電位差滴定法により行い、測定材齢を 6 ヶ月、1、2、3 年および 5 年とした。なお、新潟県親不知に暴露した供試体の分析は暴露期間中海側を向いていた面と山側を向いていた面（図 3-2 参照）のそれぞれに区分して実施した。

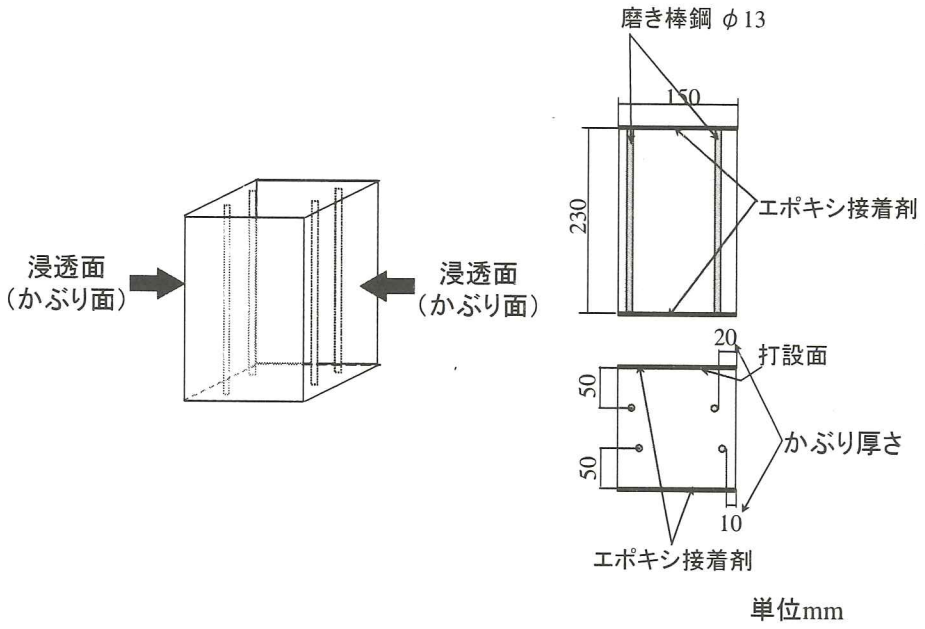


図 3-1　鉄筋の腐食試験用供試体

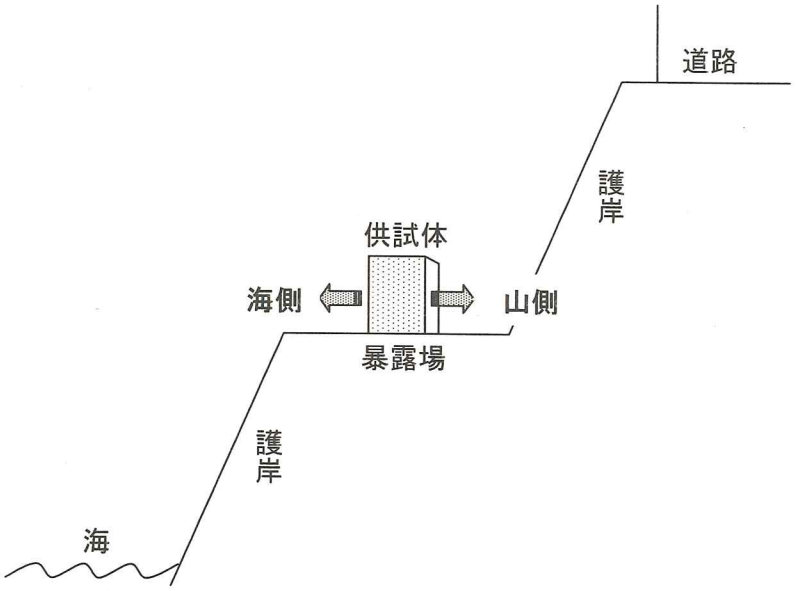


図 3-2　新潟県親不知暴露状況概略図

3.1.4　コンクリート配合

コンクリート配合を表 3-6～表 3-9 に示す。コンクリートの水セメント比を 45、55 および 65％の 3 水準とし、単位水量はスランプ値が 8±2.5cm および 18±2.5cm となるよう調整した。また、空気量は 4.5±1.5％となるように AE 剤添加量により調整した。なお、断熱温度上昇量試験は単位セメント量の影響を受けることを考慮して、セメント種類に関らず単位セメント量を 285kg/m^3 および 320kg/m^3 に固定し、水セメント比を 55％とした。

表 3-6　コンクリートの配合（平成 11 年度：フレッシュ、強度、耐久性）

目標スランプ	セメント種類	水セメント比（%）	細骨材率（%）	単位量（kg/m³）					AE 剤（C×%）
				W	C	S	G	AE 減水剤	
8cm	E	45.0	42.0	158	351	747	1084	0.88	0.0055
		55.0	44.0	158	287	806	1077	0.72	0.0050
		65.0	46.0	158	243	859	1059	0.61	0.0050
	N	45.0	44.0	156	347	786	1050	0.87	0.0050
		55.0	46.0	156	284	845	1042	0.71	0.0030
		65.0	48.0	156	240	899	1023	0.60	0.0030
	B	45.0	43.0	154	342	767	1067	0.86	0.0065
		55.0	45.0	154	280	826	1061	0.70	0.0065
		65.0	47.0	154	237	880	1042	0.59	0.0070
18cm	E	45.0	44.0	178	396	744	995	0.99	0.0050
		55.0	46.0	178	324	805	993	0.81	0.0050
		65.0	48.0	178	274	859	978	0.68	0.0050
	N	45.0	46.0	176	391	781	962	0.98	0.0025
		55.0	48.0	176	320	843	959	0.80	0.0025
		65.0	50.0	176	271	898	943	0.68	0.0025
	B	45.0	45.0	178	396	754	968	0.99	0.0050
		55.0	47.0	174	316	824	976	0.79	0.0050
		65.0	49.0	174	268	879	961	0.67	0.0050

表 3-7　コンクリートの配合（平成 11 年度：断熱温度上昇試験）

目標スランプ	セメント種類	水セメント比（%）	細骨材率（%）	単位量（kg/m³）					AE 剤（C×%）
				W	C	S	G	AE 減水剤	
8cm	E	55.0	44.0	157	285	808	1080	0.71	0.0030
	N		46.0	157	285	843	1040	0.71	0.0030
18cm	E	55.0	46.0	176	320	844	960	0.80	0.0070
	N		48.0	176	320	843	959	0.80	0.0065

表 3-8　コンクリートの配合（平成 12 年度）

目標スランプ	セメント種類	水セメント比（%）	細骨材率（%）	単位量（kg/m³）					AE 剤（C×%）
				W	C	S	G	AE 減水剤	
8cm	E	45.0	42.0	158	351	750	1052	0.88	0.0055
		55.0	44.0	158	287	809	1045	0.72	0.0050
		65.0	46.0	158	243	862	1028	0.61	0.0050
	N	45.0	44.0	156	347	789	1019	0.87	0.0050
		55.0	46.0	156	284	848	1011	0.71	0.0030
		65.0	48.0	156	240	902	993	0.60	0.0030
18cm	E	45.0	44.0	178	396	747	965	0.99	0.0050
		55.0	46.0	178	324	808	963	0.81	0.0050
		65.0	48.0	178	274	863	949	0.68	0.0050
	N	45.0	46.0	176	391	784	934	0.98	0.0025
		55.0	48.0	176	320	846	930	0.80	0.0025
		65.0	50.0	176	271	901	915	0.68	0.0025

表 3-9　コンクリートの配合（平成 13 年度）

目標スランプ	セメント種類	環境温度 (℃)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)					AE 剤 (C×%)
					W	C	S	G	AE 減水剤	
8cm	E	10.0	55.0	44.0	156	284	812	1055	0.71	0.0050
		20.0	55.0	44.0	158	287	809	1045	0.72	0.0060
		30.0	55.0	44.0	164	298	798	1036	0.74	0.0070
	N	10.0	55.0	46.0	154	280	852	1021	0.70	0.0020
		20.0	55.0	46.0	156	284	848	1011	0.71	0.0030
		30.0	55.0	46.0	159	289	843	1010	0.74	0.0035

3.2 フレッシュコンクリートの試験結果

3.2.1 スランプおよび空気量試験結果

(1) 練上がり直後におけるスランプおよび空気量試験結果

表 3-10 に環境温度が 20℃の場合のスランプおよび空気量試験結果を示す。普通エコセメントを使用したコンクリート（以下エコセメントコンクリート）の目標とするスランプ値および空気量を得るために必要な単位水量および空気量調整剤量は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用いた場合よりも若干増加する傾向が認められた。この原因として、普通エコセメントは、他のセメントと比較して接水直後から活発な水和反応が生じる C_3A の含有量が多いことや普通ポルトランドセメントよりも粉末度が高いこと等が考えられる。

表 3-10 スランプおよび空気量試験結果（環境温度 20℃）

目標スランプ	セメント種類	W/C (%)	単位水量 (kg/m³)	空気量調整剤 (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)
8cm	E	45	158	0.0050	6.5	3.9	21.0
		55	158	0.0050	9.0	4.8	21.0
		65	158	0.0050	7.0	4.8	21.0
	N	45	156	0.0050	7.0	4.4	21.0
		55	156	0.0030	7.5	4.5	20.5
		65	156	0.0030	6.5	4.8	20.5
	B	45	154	0.0065	7.0	4.3	20.5
		55	154	0.0065	7.5	4.6	20.0
		65	154	0.0070	7.0	4.8	19.5
18cm	E	45	178	0.0045	17.0	4.4	20.0
		55	178	0.0050	17.0	5.1	20.0
		65	178	0.0045	17.0	5.0	20.0
	N	45	176	0.0025	16.5	4.5	20.0
		55	176	0.0025	18.0	4.6	19.5
		65	176	0.0025	17.0	4.7	20.0
	B	45	178	0.0050	16.5	4.6	20.0
		55	174	0.0050	17.0	4.7	20.0
		65	174	0.0050	17.5	4.6	20.0

(2) スランプおよび空気量の経時変化

図 3-3 にスランプの経時変化を図 3-4 に空気量の経時変化を示す。また、経時変化の測定データを資料 1 に示す。普通エコセメントを用いたコンクリート（以下、エコセメントコンクリート）のスランプおよび空気量の経時変化は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート（以下、普通セメントコンクリート）および高炉セメント B 種を用いたコンクリート（以下、高炉セメントコンクリート）の場合とほぼ同等であった。

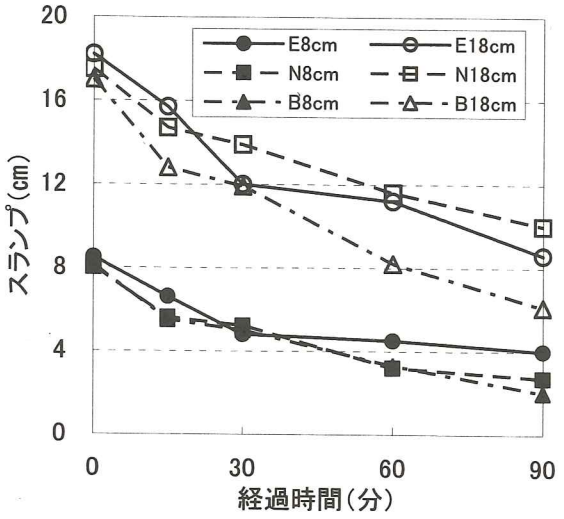


図 3-3　スランプの経時変化（W/C＝55%）

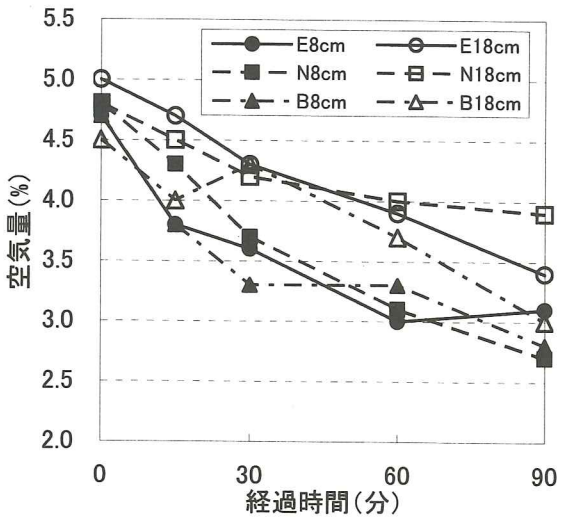


図 3-4　空気量の経時変化（W/C＝55%）

(3) スランプおよび空気量に及ぼす環境温度の影響

表 3-11 に環境温度が 10～30℃の場合のスランプおよび空気量試験結果を、図 3-5 に環境温度と所要のスランプ値（8cm）を得るために必要な単位水量の関係を示す。エコセメントコンクリートの単位水量は、環境温度に関らず普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも増加した。また、エコセメントコンクリートにおける環境温度の変化に対する単位水量の変化の傾向は 10℃から 20℃の範囲では普通セメントコンクリートの場合と同等であったが、20℃から 30℃の範囲ではエコセメントコンクリートのほうが普通セメントコンクリートの場合よりも大きくなる傾向が認められた。なお、エコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートの単位水量の差は、環境温度が 10℃および 20℃の場合では 2kg/m³ であったが、30℃の場合では 5kg/m³ であった。

表 3-11　スランプおよび空気量試験結果（環境温度の影響）

目標ｽﾗﾝﾌﾟ	ｾﾒﾝﾄ種類	環境温度(℃)	水ｾﾒﾝﾄ比(%)	細骨材率(%)	W(kg/m³)	AE 剤(C×%)	試験結果	
							スランプ(cm)	空気量(%)
8cm	E	10.0	55.0	44.0	156	0.0050	8.0	5.0
		20.0	55.0	44.0	158	0.0060	8.5	5.1
		30.0	55.0	44.0	164	0.0070	7.5	4.5
	N	10.0	55.0	46.0	154	0.0020	7.0	4.8
		20.0	55.0	46.0	156	0.0030	8.5	4.9
		30.0	55.0	46.0	159	0.0035	7.5	4.8

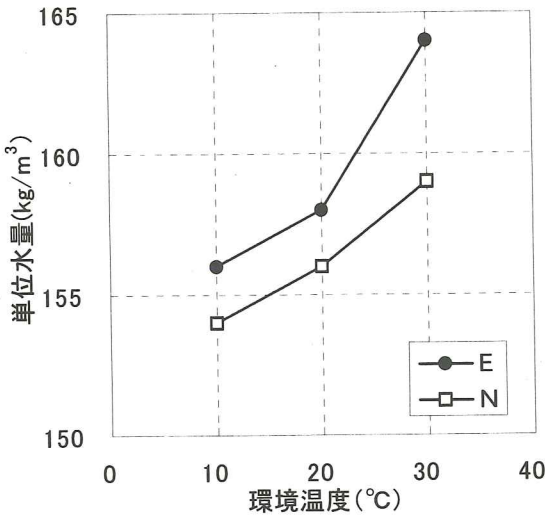


図 3-5　環境温度と単位水量の関係

3.2.2　ブリーディング試験結果

表 3-12 および図 3-6 にブリーディング試験結果を示す。いずれの配合条件においてもエコセメントコンクリートの最終ブリーディング率は、普通セメントコンクリートと同程度であった。また、エコセメントコンクリートのブリーディングが終了した時間は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して 2～3 時間程度遅い傾向にあった。

表 3-12　ブリーディング試験結果

目標スランプ	セメント種類	W/C (%)	ブリーディング率 (%)	ブリーディング量 (cm^3/cm^2)	終了時間 (h－min)
8cm	E	45	2.41	0.098	7－00
		55	4.65	0.189	8－00
		65	4.44	0.180	7－30
	N	45	3.20	0.130	5－00
		55	4.35	0.175	5－00
		65	5.93	0.246	5－30
	B	45	3.21	0.131	5－30
		55	3.38	0.133	5－30
		65	3.41	0.134	5－00
18cm	E	45	4.54	0.211	8－30
		55	6.45	0.288	8－30
		65	8.64	0.396	9－00
	N	45	3.92	0.177	5－30
		55	6.58	0.311	6－00
		65	9.19	0.415	6－00
	B	45	3.84	0.176	6－30
		55	4.63	0.213	6－30
		65	6.48	0.289	6－00

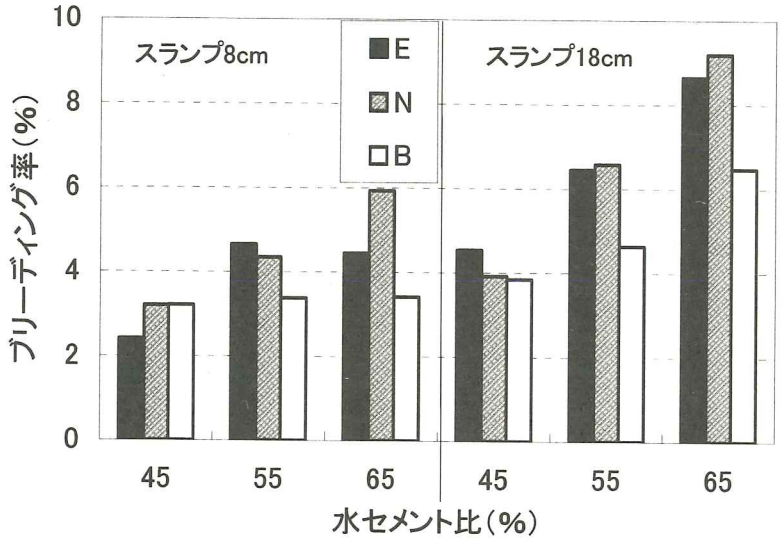


図 3-6　ブリーディング試験結果

3.2.3　凝結試験結果

表 3-13 および図 3-7 に凝結試験結果を示す。エコセメントコンクリートの始発時間および終結時間は、普通セメントコンクリートおよび高炉セメントコンクリートと比較して 2～3 時間程度長くなる傾向を示した。

表 3-13　凝結試験結果

目標スランプ	セメント種類	W/C (%)	凝結時間 (h—min)	
			始発	終結
8cm	E	45	7－30	9－55
		55	8－20	10－55
		65	7－50	10－40
	N	45	5－25	7－15
		55	5－35	7－30
		65	5－50	8－15
	B	45	6－25	9－00
		55	6－30	9－35
		65	6－35	10－05
18cm	E	45	9－05	11－30
		55	9－25	11－55
		65	9－00	12－05
	N	45	5－45	7－25
		55	6－05	8－05
		65	6－20	8－30
	B	45	7－00	9－25
		55	7－00	9－25
		65	7－05	10－35

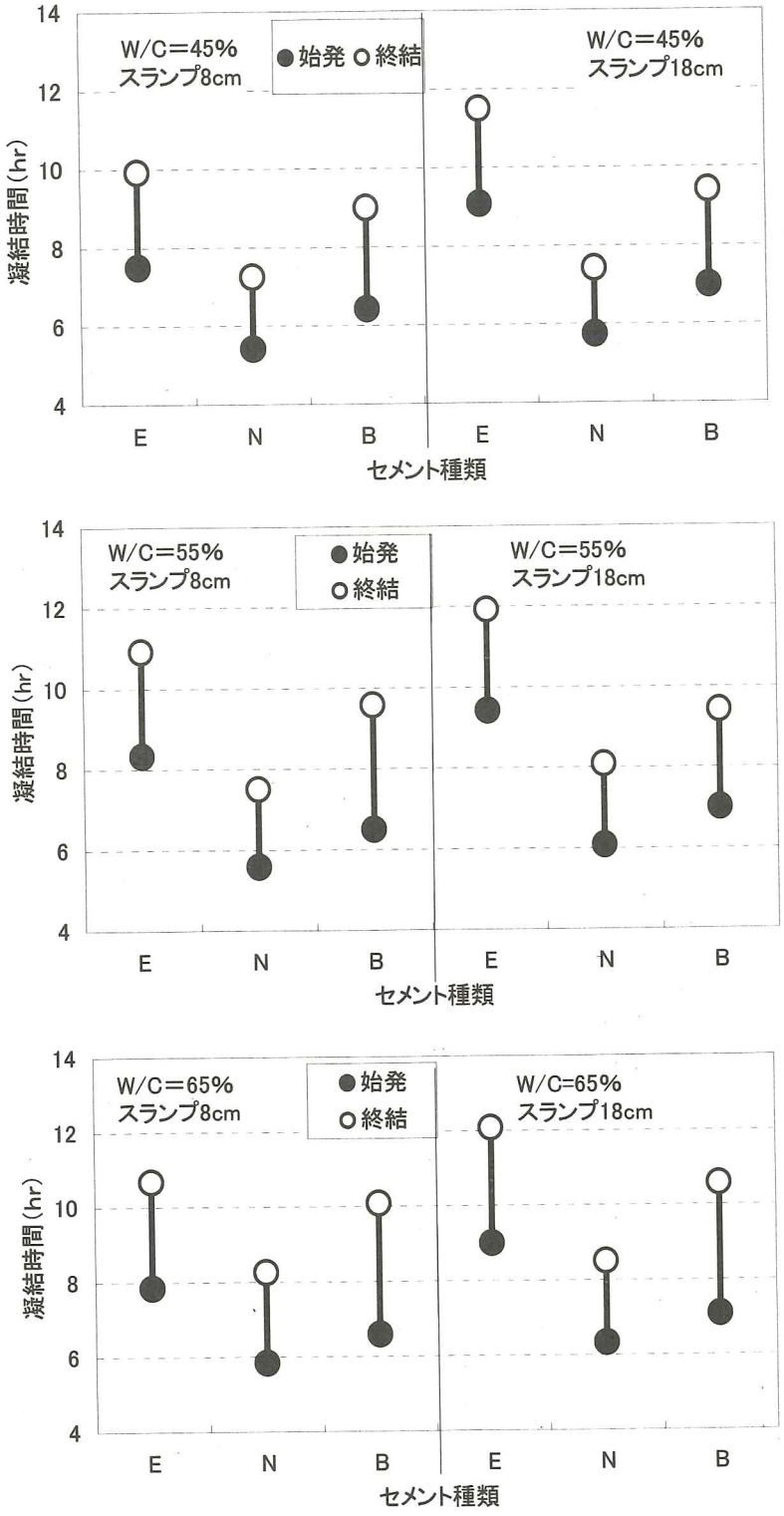

W/C＝45%
スランプ8cm
始発
終結
W/C＝45%
スランプ18cm
凝結時間(hr)
14
12
10
8
6
4
E
N
B
E
N
B
セメント種類
W/C＝55%
スランプ8cm
始発
終結
W/C＝55%
スランプ18cm
凝結時間(hr)
セメント種類
W/C＝65%
スランプ8cm
始発
終結
W/C=65%
スランプ18cm
凝結時間(hr)
セメント種類

図 3-7　凝結試験結果

3.2.4 断熱温度上昇試験結果

図 3-8 に断熱温度上昇試験結果を表 3-14 に断熱温度上昇回帰係数を示す。なお、断熱温度上昇量の測定結果を資料 2 に示す。材齢 2 日付近までのエコセメントコンクリートの断熱温度上昇量は、いずれの単位セメント量においても、普通セメントコンクリートと比較して高くなった。しかし、発熱がほぼ収束する材齢 14 日の温度上昇量はほぼ同等であった。

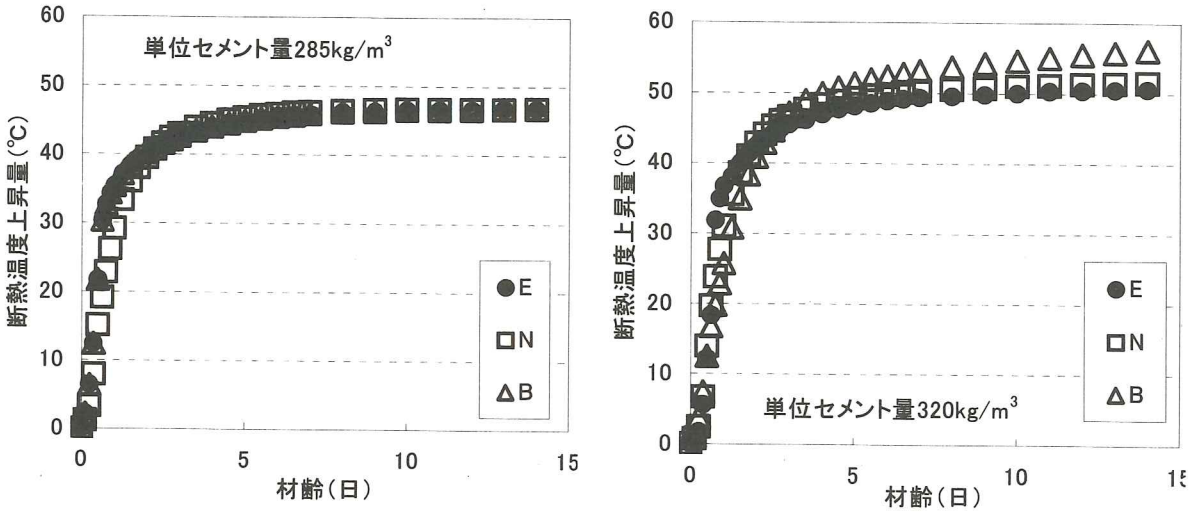


図 3-8　断熱温度上昇試験結果

表 3-14　断熱温度上昇回帰係数

セメント種類	単位セメント量 (kg/m³)	回帰係数*)	
		K (℃)	α (1/日)
E	285	45.3	1.29
N		46.4	0.91
B		50.1	0.60
E	320	49.1	1.21
N		50.7	0.86
B		54.5	0.65

＊）断熱温度上昇曲線近似式

$T=K(1-\exp(-\alpha \cdot t))$

T：断熱温度上昇量（℃）

K：終局温度上昇量（℃）

α：温度上昇速度に関する定数

t：材齢（日）

3.3 強度試験結果

3.3.1 圧縮強度試験結果

(1) 圧縮強度に及ぼす水セメント比の影響

図 3-9 に材齢と圧縮強度の関係を示す。また、個々の圧縮強度試験結果を資料 3 に示す。エコセメントコンクリートの初期材齢における圧縮強度は、高炉セメント B 種を使用した場合よりも高く、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等かやや低い傾向にあった。また、エコセメントコンクリートの長期材齢における強度発現は、普通ポルトランドセメントを使用した場合および高炉セメント B 種を使用した場合と比較して小さい傾向が認められた。普通エコセメントは、長期材齢の強度発現に影響を及ぼす C_2S が普通ポルトランドセメントと比較して少ないためと推察される。図 3-10 にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。エコセメントコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係は、普通ポルトランドセメントを使用した場合および高炉セメント B 種を使用した場合と同様に一次式で近似でき、セメント水比則が成立することが認められた。

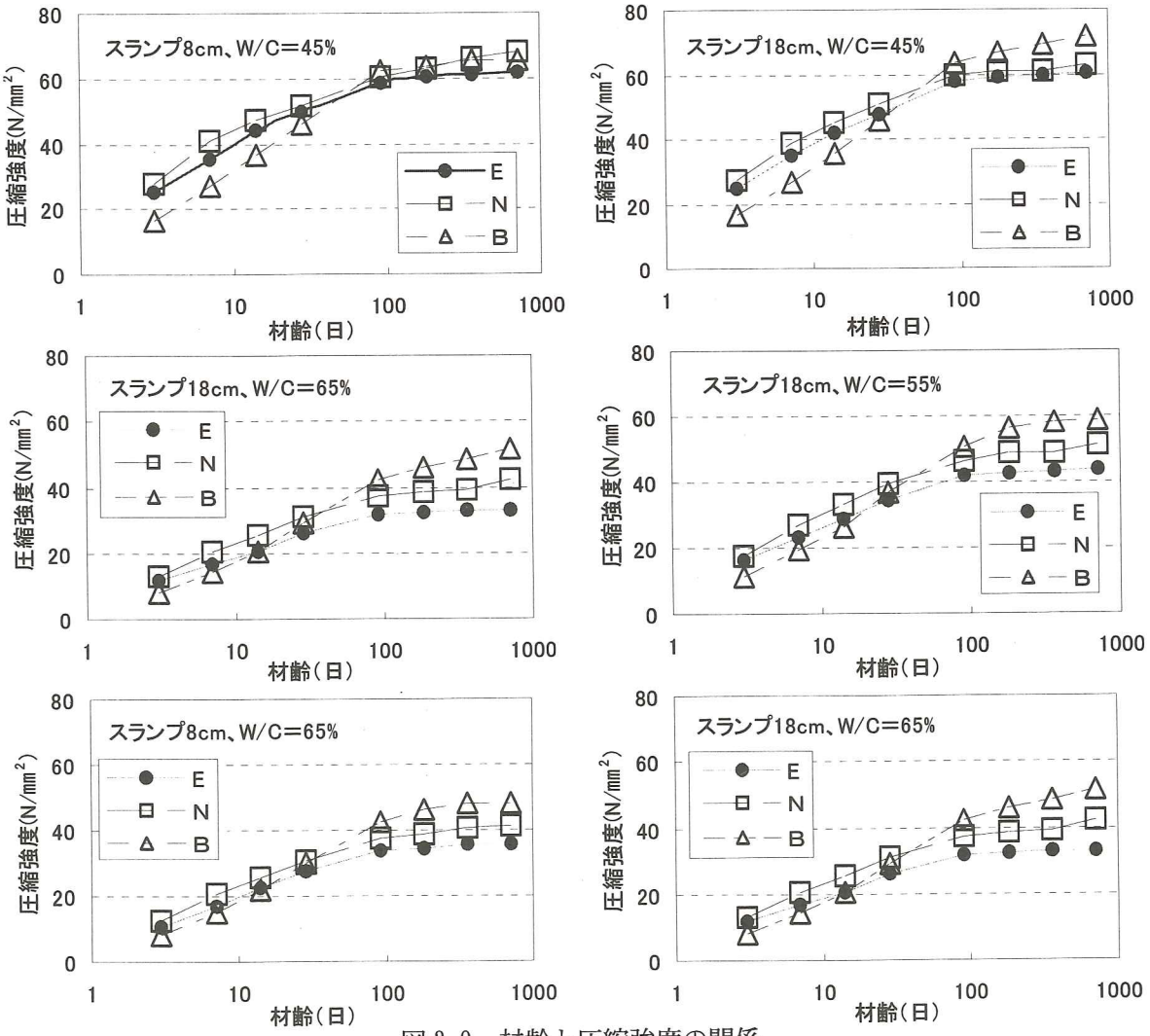


図 3-9　材齢と圧縮強度の関係

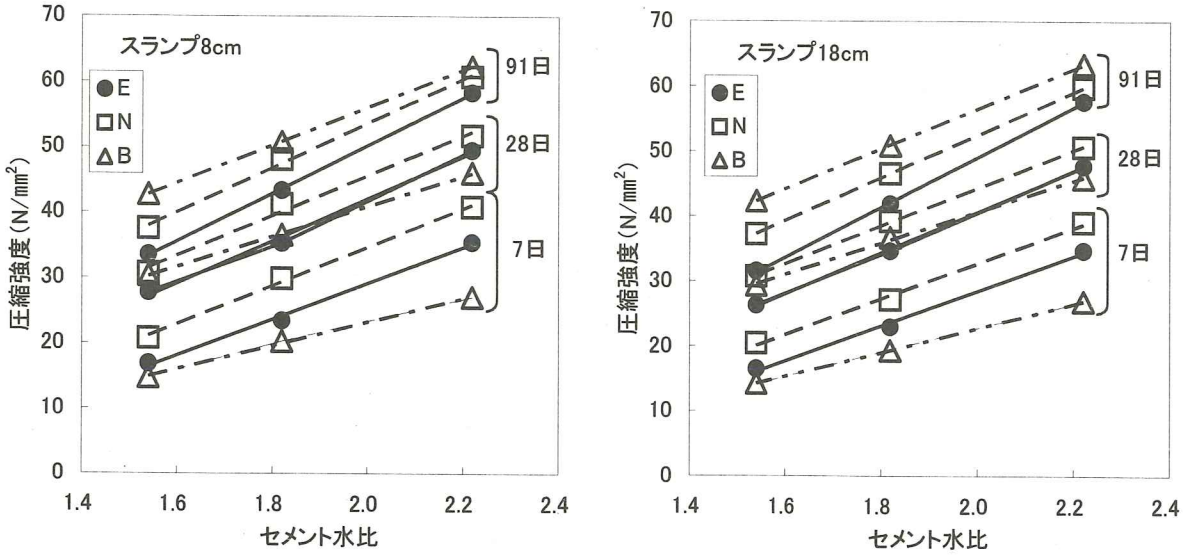


図 3-10　セメント水比と圧縮強度の関係

(2) 圧縮強度に及ぼす養生温度の影響

図 3-11 および図 3-12 に材齢と圧縮強度の関係をセメント種類別に示す。また、個々の圧縮強度試験結果を資料 4 に示す。エコセメントコンクリートの圧縮強度発現性状は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様の傾向が認められた。すなわち、初期材齢においては養生温度が高い場合ほど強度が高く、材齢 28 日において養生温度に関係無くほぼ同等となり、材齢 91 日以降においては養生温度が高いほど強度が低くなる傾向が認められた。また、すべての養生温度において、材齢 28 日におけるエコセメントコンクリートの圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを使用した場合を若干下回る程度であったが、材齢 28 日以降においてはエコセメントコンクリートの強度増進量が小さいため、その差は大きくなる傾向が認められた。

図 3-13 に積算温度と圧縮強度の関係を示す。一般に同一配合であれば養生時の温度履歴が異なる場合も積算温度と圧縮強度には相関関係があり、積算温度の対数と圧縮強度の関係は直線近似できるといわれている[3-1)]。本試験結果においてエコセメントコンクリートの積算温度の対数と圧縮強度の関係もマチュリティーが 1000D.D 以上で若干のばらつきが認められるものの普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様にほぼ直線関係を示すことが確認された。

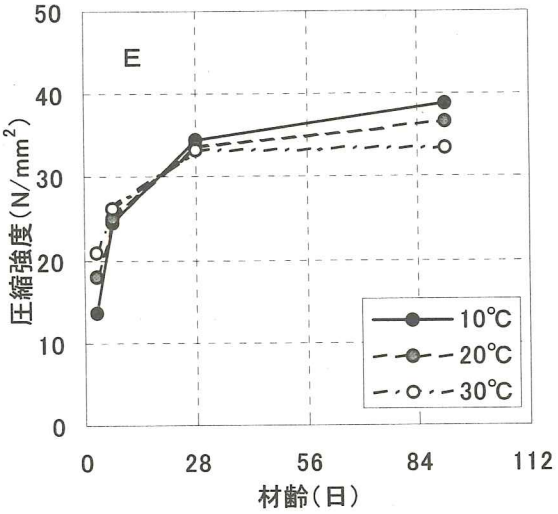


図 3-11　圧縮強度の経時変化（E）

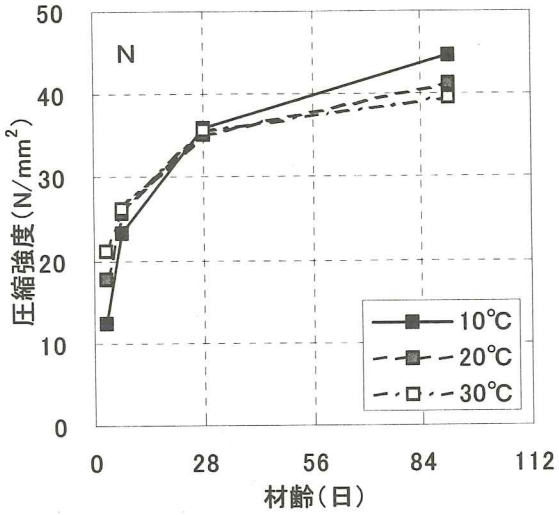


図 3-12　圧縮強度の経時変化（N）

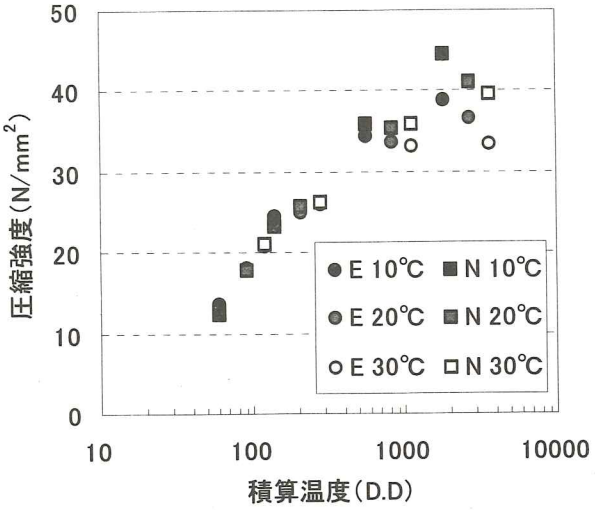


図 3-13　積算温度と圧縮強度の関係

3.3.2　静弾性係数試験結果

図 3-14 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。なお、静弾性係数の測定データを資料 3 に示す。エコセメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントＢ種を使用した場合と同様の関係を示した。

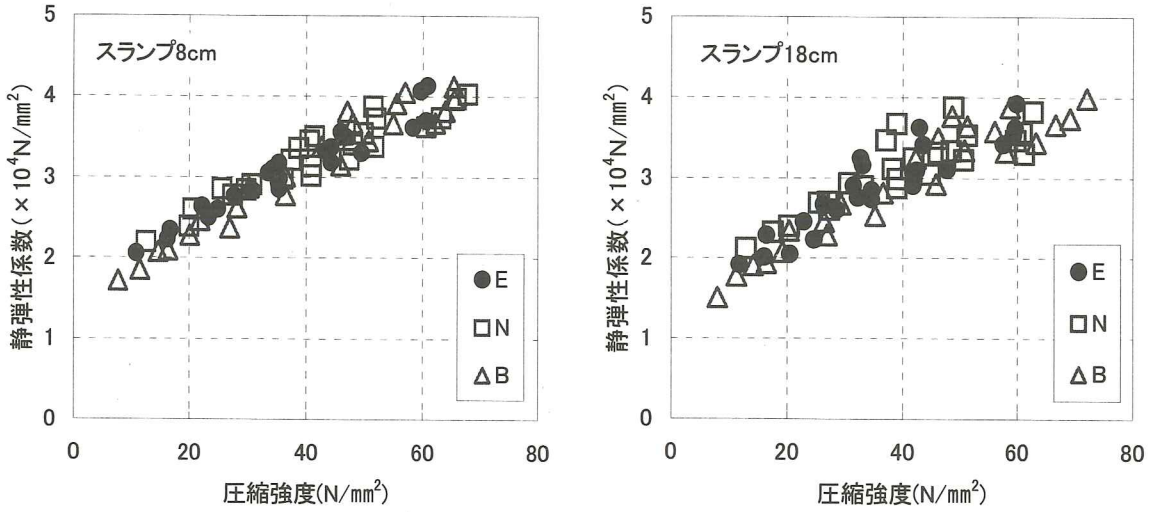


図 3-14　圧縮強度と静弾性係数の関係

3.3.3　曲げ強度試験結果

図 3-15 および図 3-16 に材齢 28 日における曲げ強度試験結果および圧縮強度と曲げ強度の関係をそれぞれ示す。また、曲げ強度の測定データを資料 5 に示す。エコセメントコンクリートの曲げ強度は、同一水セメント比の普通セメントコンクリートよりもやや下回る傾向が認められた。しかしながら、エコセメントコンクリートの圧縮強度と曲げ強度の関係は、いずれも普通セメントコンクリートおよび高炉セメントコンクリートの場合と同様の関係を示した。

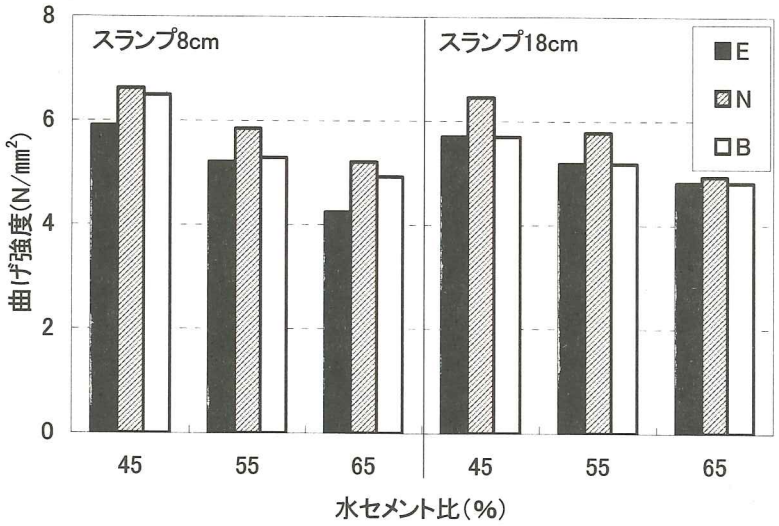


図 3-15　曲げ強度試験結果

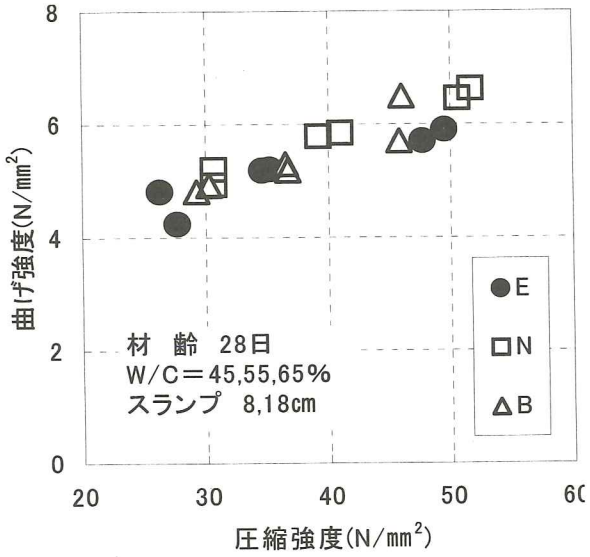


図 3-16　圧縮強度と曲げ強度の関係

3. 3. 4　引張強度試験結果

図 3-17 および図 3-18 に材齢 28 日における引張強度試験結果および圧縮強度と引張強度の関係をそれぞれ示す。また、個々の引張強度試験データを資料 6 に示す。エコセメントコンクリートの引張強度は、同一水セメント比の普通セメントコンクリートよりもやや下回る傾向が認められた。しかしながら、エコセメントコンクリートの圧縮強度と引張強度の関係は、いずれも普通セメントポルトランドセメントおよび高炉セメントＢ種を使用した場合と同様の関係を示した。

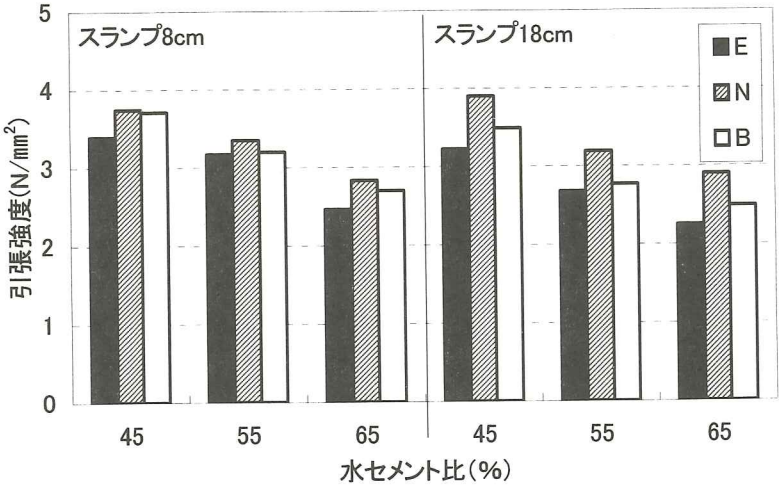


図 3-17　引張強度試験結果

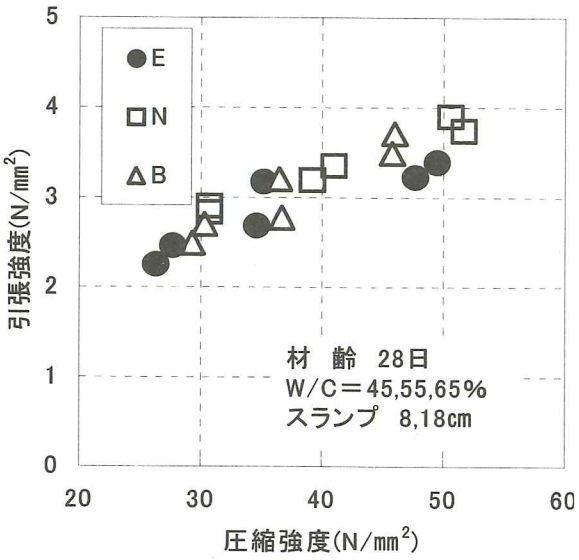


図 3-18　圧縮強度と引張強度の関係

3.4 耐久性試験結果

3.4.1 乾燥収縮試験結果

コンクリートの乾燥収縮試験結果として長さ変化率測定結果を図 3-19 および図 3-20 に、質量変化率を図 3-21 および図 3-22 に示す。また、乾燥収縮試験における測定データを資料 7 に示す。エコセメントコンクリートは、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用した場合と比較して、質量減少率が大きいが、長さ変化率は逆にやや小さくなった。

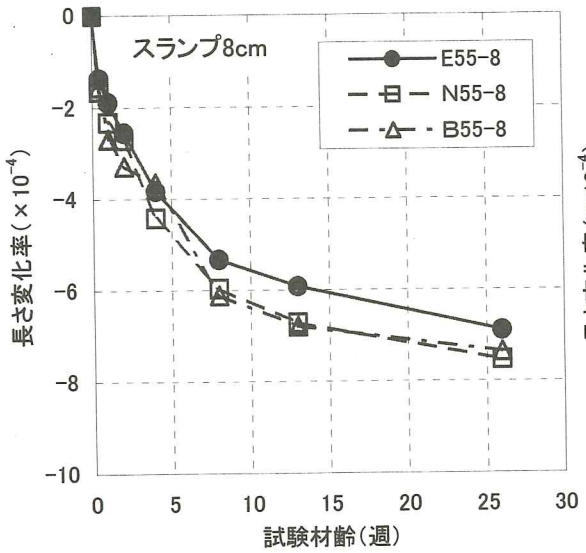


図 3-19　長さ変化率測定結果（スランプ 8cm）

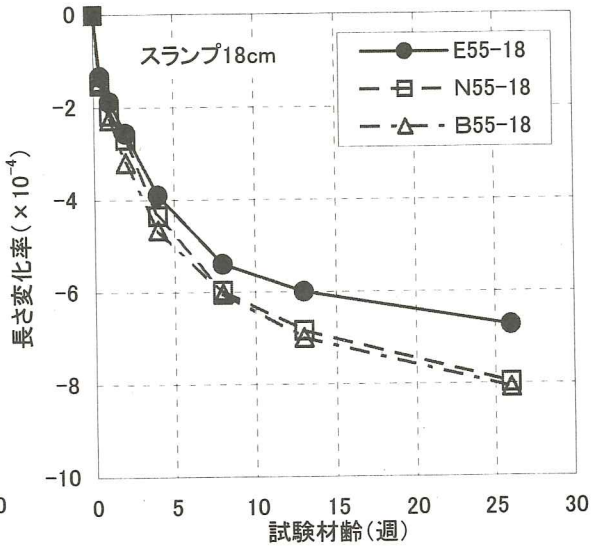


図 3-20　長さ変化率測定結果（スランプ 18cm）

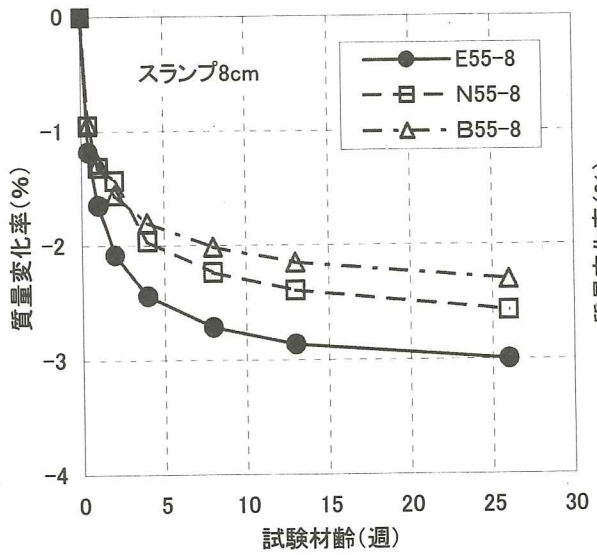


図 3-21　質量変化率測定結果（スランプ 8cm）

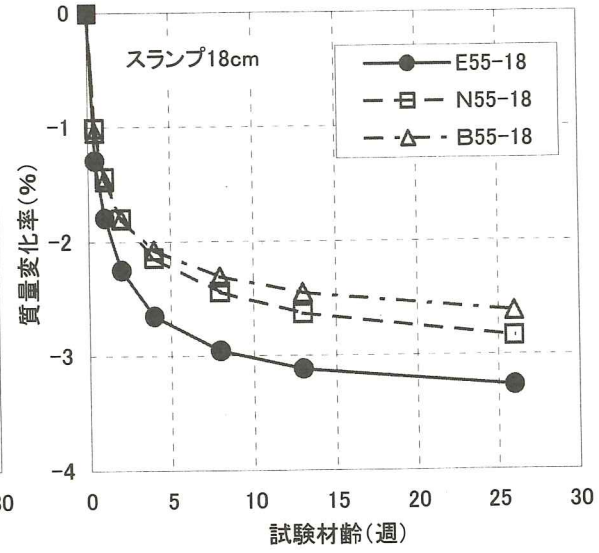


図 3-22　質量変化率測定結果（スランプ 18cm）

3.4.2 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果としてサイクル数と相対動弾性係数の関係を図 3-23 および図 3-24 に、サイクル数と質量変化率の関係を図 3-25 および図 3-26 に示す。また、凍結融解試験データを資料 8 に示す。

エコセメントコンクリートの相対動弾性係数は、コンクリートのスランプ値に関らず 200 サイクル終了時においてほぼ 100%であり、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用した場合と同様に、十分に凍結融解抵抗性を有していることが確認された。また、エコセメントコンクリートの質量減少率も他のセメントを使用した場合とほぼ同等であり、スケーリング等のコンクリートの劣化は認められなかった。

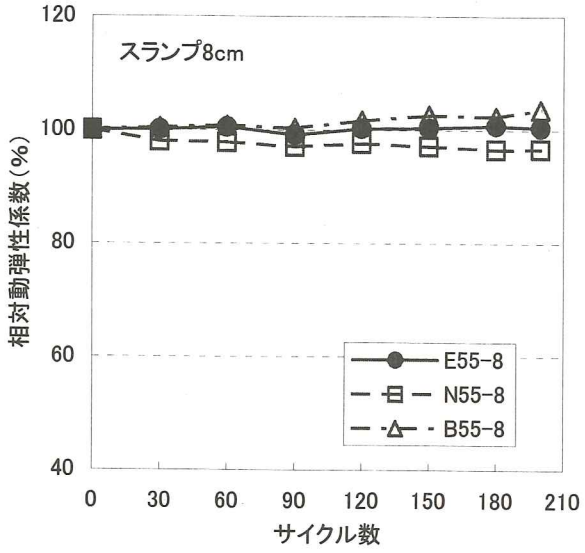


図 3-23　相対動弾性係数測定結果
（スランプ 8cm）

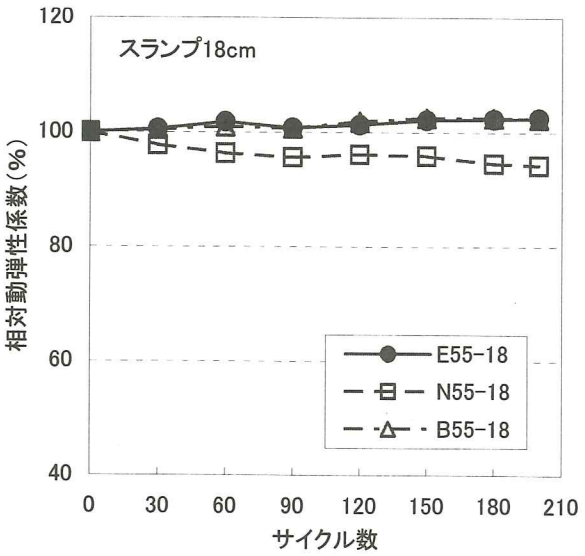


図 3-24　相対動弾性係数測定結果
（スランプ 18cm）

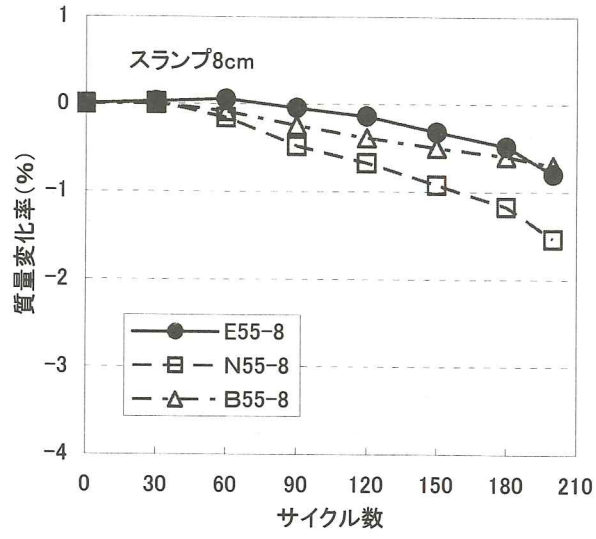


図 3-25　質量変化率測定結果
（スランプ 8cm）

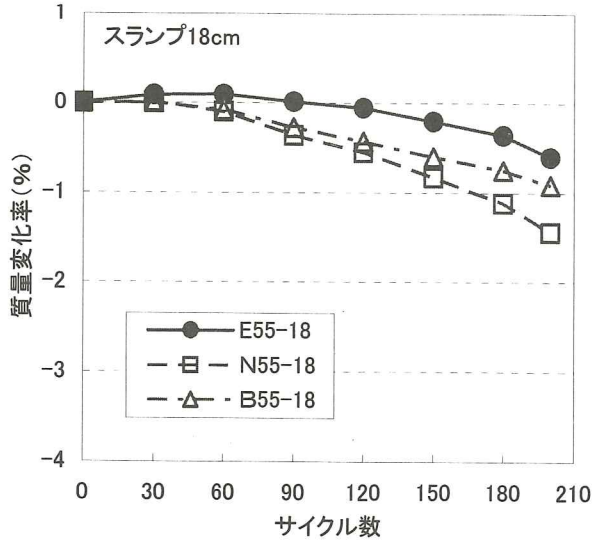


図 3-26　質量変化率測定結果
（スランプ 18cm）

3.4.3 促進中性化試験結果

(1) 中性化性状に及ぼす養生条件およびスランプの影響

コンクリートの促進中性化試験結果として、試験材齢と中性化深さの関係を図 3-27 および図 3-28 に示す。また、この結果を用いて算定した中性化速度係数の一覧表を表 3-15 に示す。なお、個々の中性化試験データを資料 9 に示す。本試験では、中性化性状に及ぼす前養生条件の影響を調べることを目的として、前養生における水中養生期間を 28 日間とした場合および 14 日間とした場合の 2 水準について試験を行った。

エコセメントコンクリートの中性化深さは、養生条件およびコンクリートのスランプ値に関らず、普通セメントコンクリートよりも大きく、高炉セメントコンクリートよりも若干小さい値であった。また、水中養生を 28 日まで行った場合の中性化深さは、水中養生を 14 日間で行った場合と比較して、試験材齢 13 週までは若干小さく 90%程度であったが、試験材齢 26 週ではほぼ同等の値となった。

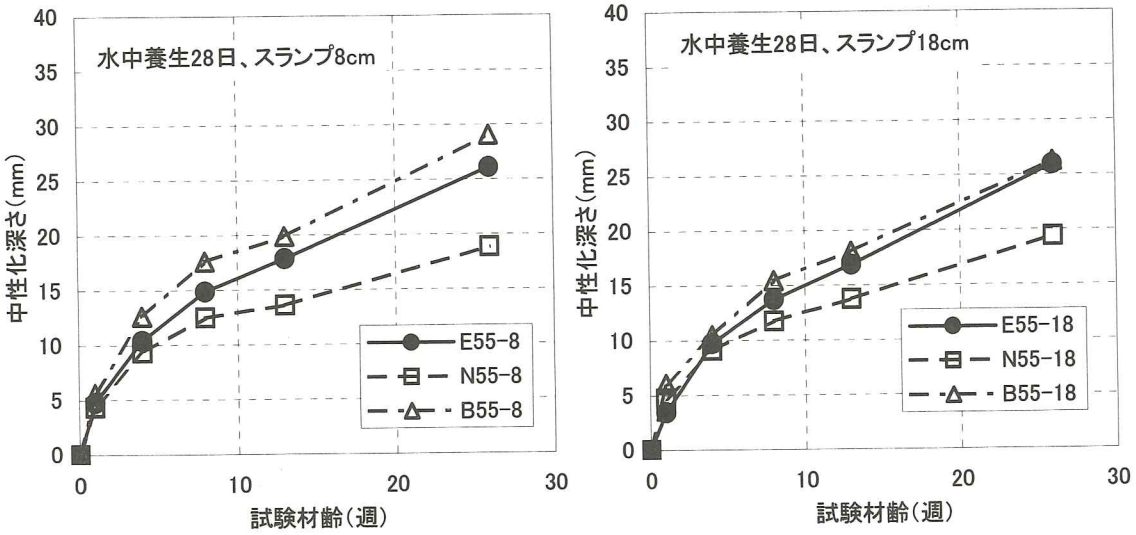


図 3-27 中性化試験結果（水中養生 28 日）

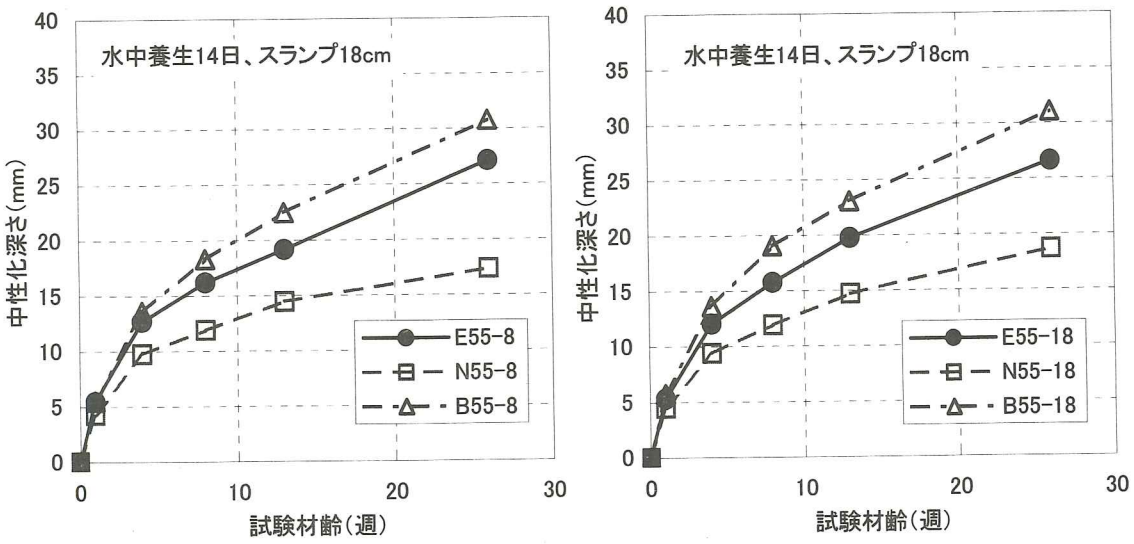


図 3-28 中性化試験結果（水中養生 14 日）

表 3-15　中性化速度係数算定結果

ｽﾗﾝﾌﾟ値 (cm)	ｾﾒﾝﾄ種類	中性化速度係数 (mm/√週)	
		前養生 14 日	前養生 28 日
8	E	5.45	5.09
	N	3.80	3.91
	B	6.20	5.77
18	E	5.40	4.90
	N	3.95	3.93
	B	6.32	5.19

(2) 中性化性状に及ぼす水セメント比の影響

試験材齢の平方根と中性化深さの関係をセメント種類およびスランプ別に図 3-29～図 3-32 に示す。また、この結果を用いて算定した中性化速度係数の一覧表を表 3-16 に示す。なお、個々の中性化試験測定結果を資料 10 に示す。(1) に示した結果と同様に、エコセメントコンクリートの中性化速度は、同一水セメント比の普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも大きくなった。しかし、エコセメントコンクリートも普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に低水セメント比の場合ほど中性化深さは小さくなることが確認された。

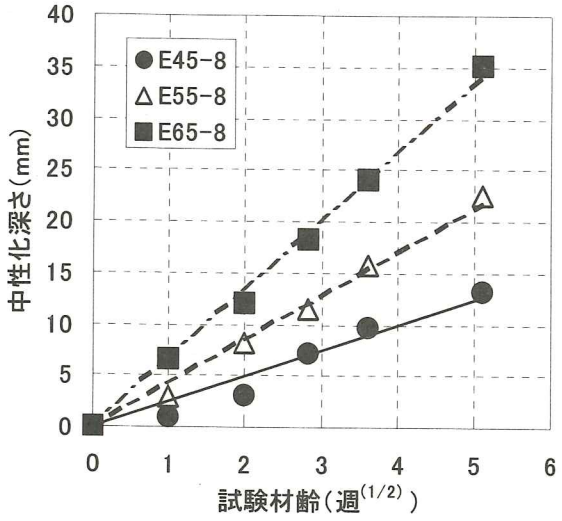


図 3-29　中性化試験結果 (E、ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm)

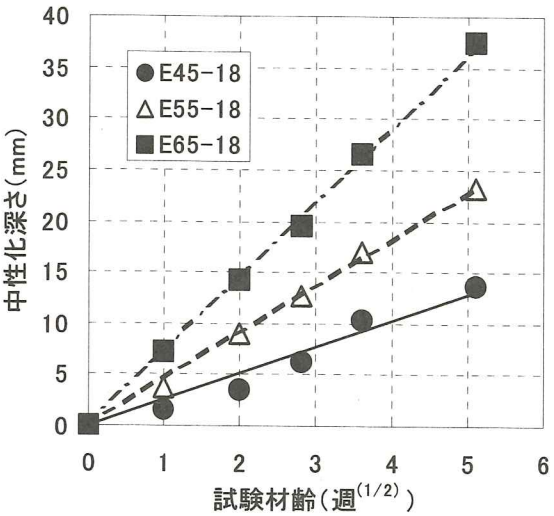


図 3-30　中性化試験結果 (E、ｽﾗﾝﾌﾟ 18cm)

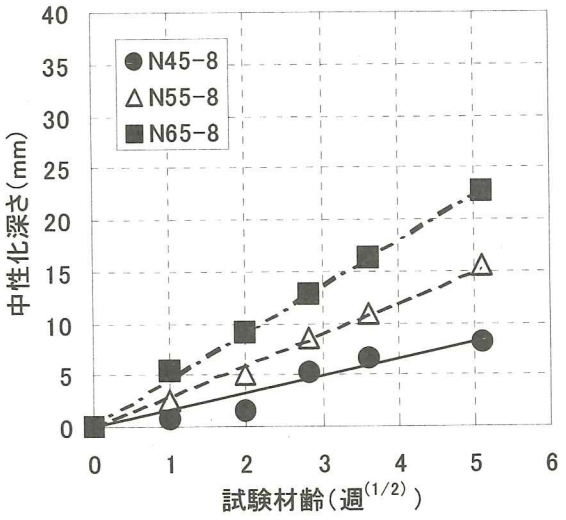


図 3-31　中性化試験結果（N、ｽﾗﾝﾌﾟ 8cm）

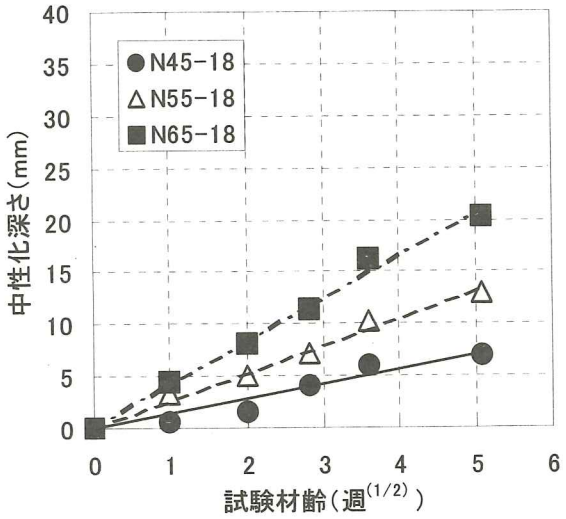


図 3-32　中性化試験結果（N、ｽﾗﾝﾌﾟ 18cm）

表 3-16　中性化速度係数算定結果

ｽﾗﾝﾌﾟ値 (cm)	ｾﾒﾝﾄ種類	中性化速度係数（mm/√週）		
		45	55	65
8	E	2.49	4.27	6.70
	N	1.63	2.99	4.50
18	E	2.56	4.56	7.27
	N	1.39	2.62	4.15

(3) 圧縮強度と中性化速度係数の関係

図 3-33 に材齢 28 日の圧縮強度と中性化速度係数の関係を示す。また、圧縮強度の測定結果を資料 11 に示す。エコセメントコンクリートの中性化速度係数は、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートと比較して、同等かやや大きい傾向が認められた。一般に、コンクリートの中性化性状はコンクリート中の全空隙量や水酸化カルシウム生成量の影響を受けると考えられている[3-2)]。普通エコセメントは普通ポルトランドセメントとは鉱物組成が異なっているため、エコセメントコンクリートの硬化体空隙率および水酸化カルシウム生成量は同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートとは異なるものと推察される。

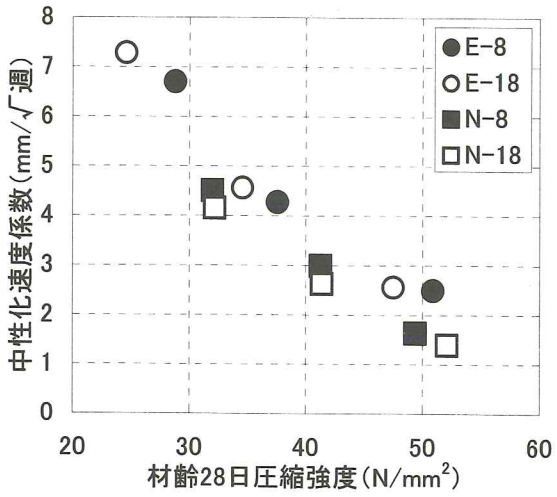


図 3-33　圧縮強度と中性化速度係数の関係

(4) 硬化体内部空隙と中性化速度係数の関係

図 3-34 に中性化試験後の供試体より採取した未中性化部分のコンクリートの全空隙率と中性化速度係数の関係を示す。また、硬化体空隙率の測定結果を資料 12 に示す。エコセメントコンクリートの全空隙率と中性化速度係数の関係は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同一の関係で表すことができた。この結果より、エコセメントコンクリートにおいても、普通セメントコンクリートの場合と同様に、その硬化体空隙率が中性化性状に大きく影響していることが確認された。

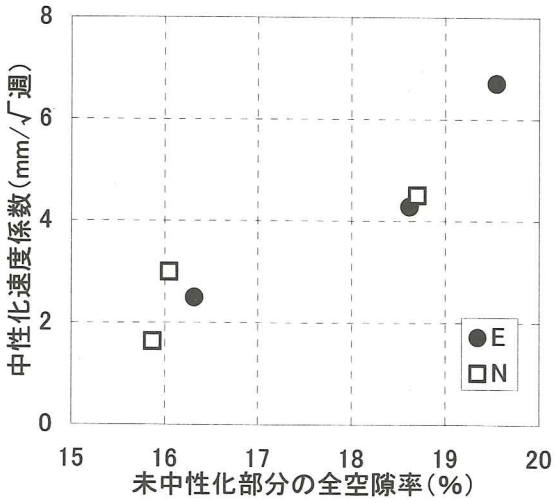


図 3-34　コンクリートの全空隙率と中性化速度係数の関係

3.4.4 鉄筋の腐食試験結果

(1) オートクレーブ法による鉄筋の促進腐食試験結果

コンクリート中の鉄筋の促進腐食試験結果を表 3-17 に示す。エコセメントコンクリート中の鉄筋は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と同様に、いずれの配合条件においても発錆が認められなかった。

表 3-17　鉄筋の腐食試験結果（オートクレーブ法）

目標スランプ	セメント種類	W/C (%)	発錆面積率 (%)
8cm	E	55	0.00
	N		0.00
	B		0.00
18cm	E		0.00
	N		0.00
	B		0.00

(2) 乾湿繰り返し法による鉄筋の促進腐食試験結果

表 3-18 に JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－乾湿繰返し法－」に準拠して行った促進腐食試験結果を示す。表中には鉄筋の配置位置およびかぶり厚さ別に試験結果を示している。また、個々のデータについては資料 13 に示す。使用したセメントの種類に関らず、乾湿繰り返し法においてもオートクレーブ法の場合と同様にほとんど発錆は認められず、鉄筋位置およびかぶり厚さの影響も明確には認められなかった。

表 3-18　鉄筋の腐食試験結果（乾湿繰り返し法）

試験水準	鉄筋位置	かぶり厚さ	発錆面積率 (%)	
			試験前	20 ｻｲｸﾙ
E55-8	打設面側	1cm	0.00	1.37
		2cm	0.00	0.00
	底面側	1cm	0.00	0.00
		2cm	0.00	0.00
N55-8	打設面側	1cm	0.00	0.46
		2cm	0.00	0.03
	底面側	1cm	0.00	0.00
		2cm	0.00	0.00

(3) 屋外暴露による鉄筋の腐食試験結果

茨城県つくば市および新潟県親不知に暴露した供試体の材齢 2 年までの発錆試験結果を表 3-19 に示す。また、個々のデータについては資料 14 に示す。材齢 2 年では、いずれの暴露場所に設置したエコセメントコンクリートの場合もほとんど発錆が認められず、普通セメントコンクリートとの相違は認められなかった。今後は引き続き試験を継続し、供用環境下におけるエコセメントコンクリート中の鉄筋を保護する性能に関して評価を行う予定である。

表 3-19　鉄筋の腐食試験結果（暴露試験）

暴露場所	試験水準	鉄筋位置	かぶり厚さ	発錆面積率（%）		
				試験前	1年	2年
つくば市	E55-8	打設面側	1cm	0.00	0.37	0.11
			2cm	0.00	0.00	0.00
		底面側	1cm	0.00	0.00	0.28
			2cm	0.00	0.00	0.00
	N55-8	打設面側	1cm	0.00	0.00	1.56
			2cm	0.00	0.00	0.00
		底面側	1cm	0.00	0.00	0.00
			2cm	0.00	0.00	0.00
親不知	E55-8	打設面側	1cm	0.00	2.63	0.06
			2cm	0.00	0.00	0.00
		底面側	1cm	0.00	0.00	0.00
			2cm	0.00	0.00	0.00
	N55-8	打設面側	1cm	0.00	0.00	7.45
			2cm	0.00	0.00	0.00
		底面側	1cm	0.00	0.23	0.00
			2cm	0.00	0.00	0.00

3.4.5　アルカリ骨材反応試験結果

試験結果を図 3-35 に示す。またモルタルバー法の測定データを資料 15 に示す。普通エコセメント中のアルカリ量は 0.4%程度と市販の普通ポルトランドセメントと比較して低いため、アルカリ骨材反応の発生の可能性は比較的低いと考えられる。そこで、本試験では JIS A 1146「骨材のアルカリ骨材反応性試験方法（モルタルバー法）」により“無害でない”と判定された 2 種類の細骨材を使用し（表 3-2 参照）、普通エコセメントのアルカリ骨材反応の抑制効果を市販の普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較検討した。その結果、普通エコセメントを使用した場合は市販の普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様の挙動を示しており特に異常な膨張は認められなかった。また、本試験で使用した普通ポルトランドセメントのアルカリ量は 0.6%であり、JIS R 5210「ポルトランドセメント」における低アルカリ形に相当する。すなわち、普通エコセメントのアルカリ骨材反応抑制効果は、低アルカリ形の普通ポルトランドセメントを使用した場合と同程度であると考えることができる。

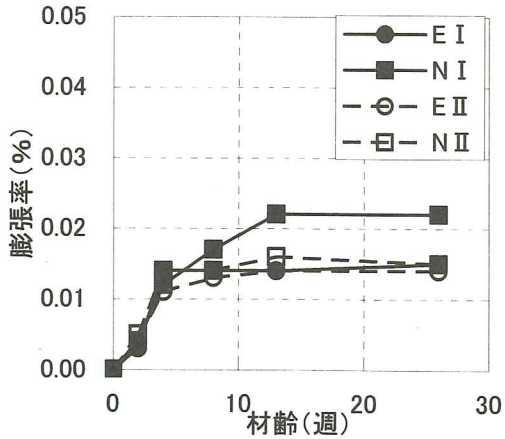


図 3-35　アルカリ骨材反応性試験結果（モルタルバー法）

3.5　屋外暴露したコンクリート硬化体の分析結果

3.5.1　細孔径分布測定結果

屋外に暴露した供試体より採取した試料を用いて、細孔径分布の測定を行った。材齢2年までの結果を図3-36～図3-39に示す。エコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートともに材齢の経過にともなって細孔直径0.1μm付近の空隙量の減少および0.003～0.007μmの空隙量の増加のいずれかもしくはそれら両者が認められた。また、エコセメントコンクリートは、同一材齢の普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して、細孔直径0.1μm付近の空隙量が多く、0.003～0.007μmの範囲の空隙量が少ない傾向が認められ、その傾向は供試体の表面部分（図中0～1.0cm）よりも中心部分（図中5.0～7.5cm）において顕著に認められた。一般に直径0.01μm以下の空隙はC-S-Hの生成にともなって生じるゲル空隙であると説明されている[3-3]。すなわち、上記結果は、主に普通エコセメントと普通ポルトランドセメントの鉱物組成の違いに起因するもので、カルシウムシリケート系鉱物が普通ポルトランドセメントよりも少ない普通エコセメントを使用したコンクリートのC-S-H生成量は、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも減少し、その傾向は長期材齢において顕著に現れたものと推察される。また供試体の表面部分と中心部分で認められた差については、これまでの検討結果[3-4]と同様に、表面部分は中心部分と比較して乾燥の影響を受けやすく、水和の進行が中心部分よりも緩慢になったことが原因の一つとして考えられる。なお、本試験では暴露場所の違いによる細孔径分布の明確な差は認められなかった。

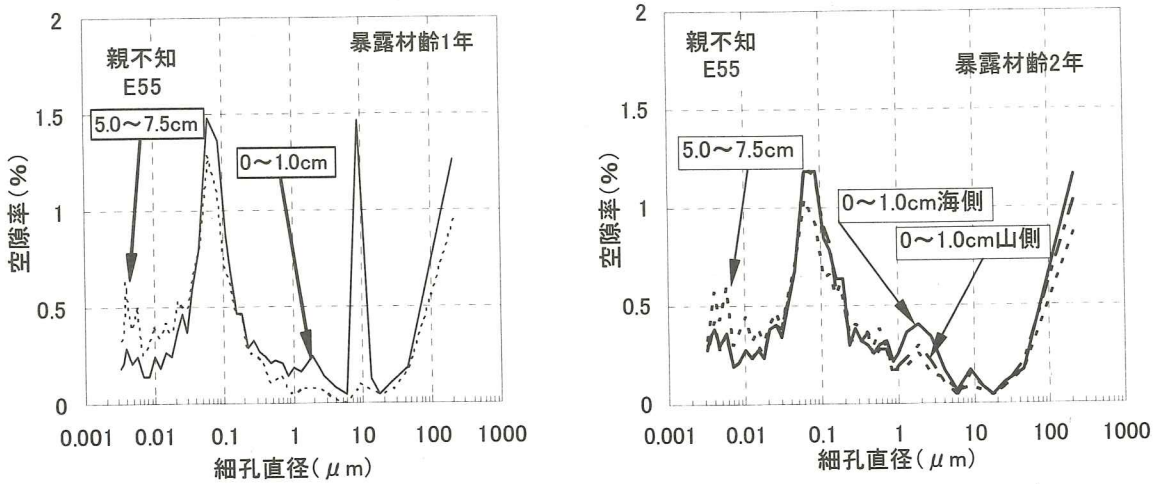


図3-36　細孔径分布測定結果（親不知：E55）

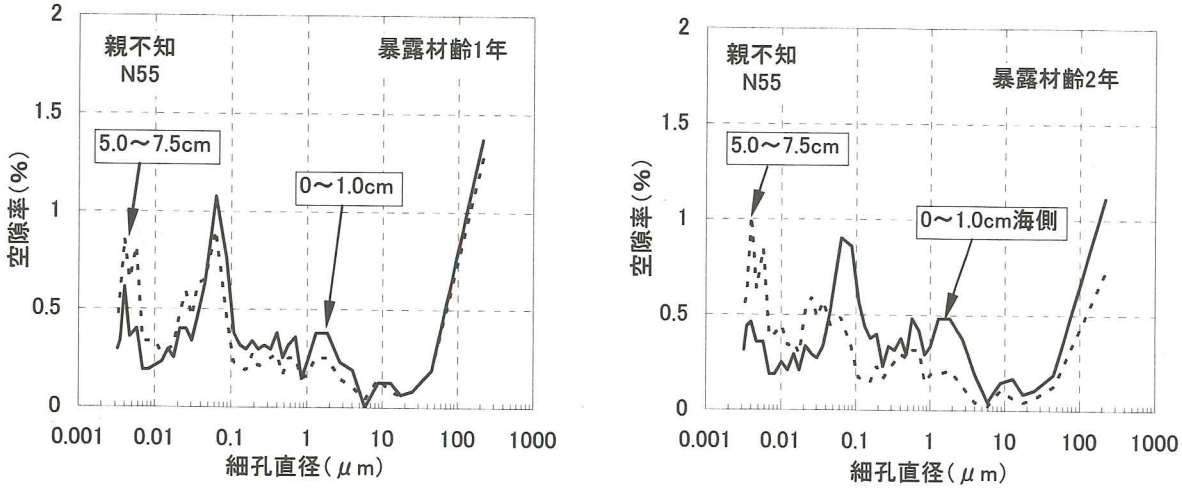


図 3-37　細孔径分布測定結果（親不知：N55）

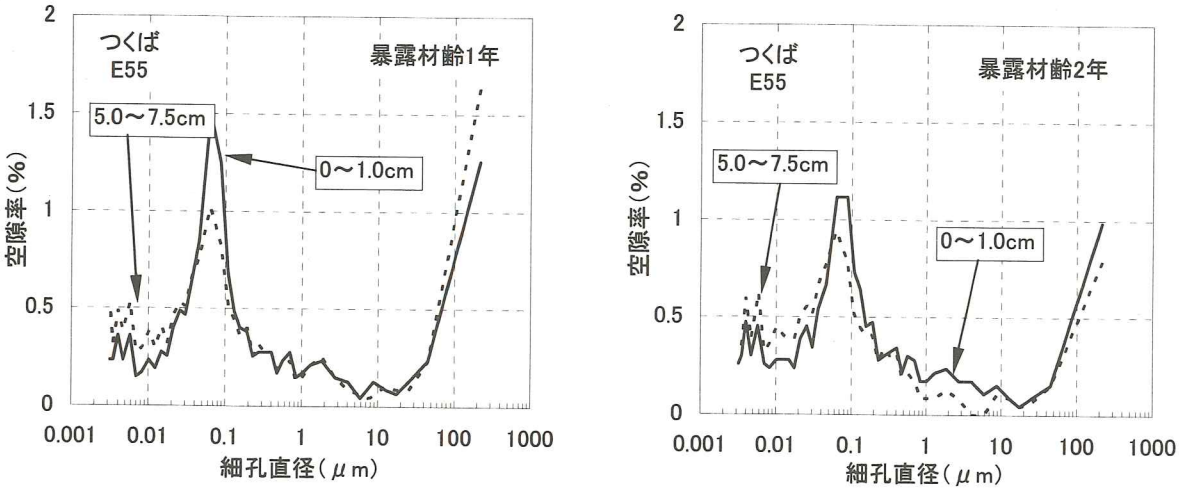


図 3-38　細孔径分布測定結果（つくば：E55）

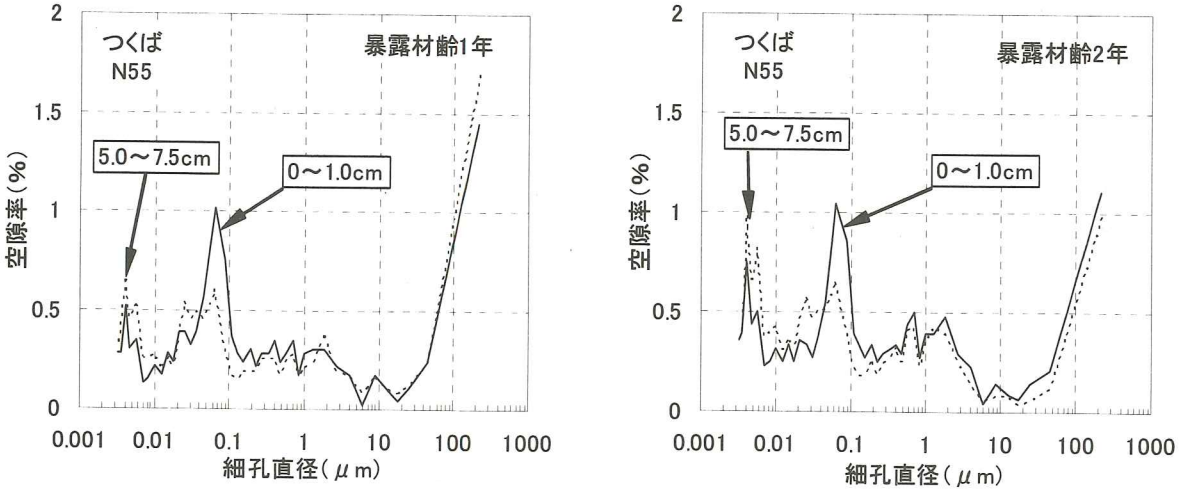


図 3-39　細孔径分布測定結果（つくば：N55）

(2) 塩化物イオン量測定結果

屋外に暴露した供試体を用いて塩化物イオン量の測定を行った。図 3-40 および図 3-41 に結果を示す。また、個々の測定データについては資料 16 に示す。エコセメントコンクリート中の塩化物イオン量は、普通エコセメントに含まれる塩化物イオン量が普通ポルトランドセメントの場合よりも多いため、普通セメントコンクリートよりも若干増加する。また、新潟県親不知に暴露した供試体は、外来の塩化物イオンの影響を受け、供試体表面において塩化物イオン量が増加する傾向が認められた。しかし、供試体中への塩化物イオンの浸透深さは、エコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートとでほぼ同等であり、材齢2年における塩化物イオンの浸透深さは約1～2cm程度であった。一方、茨城県つくば市に暴露した供試体は、供試体表面部分と中心部分とでは塩化物イオン量に大きな差は認められなかった。

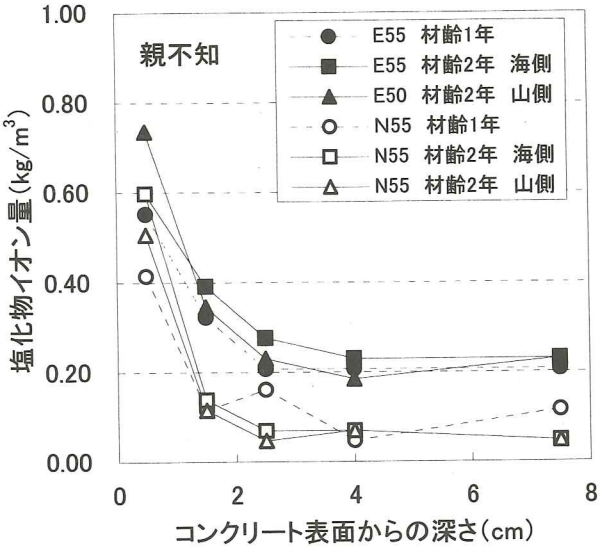


図 3-40 塩化物イオン量測定結果
(親不知, W/C＝55%)

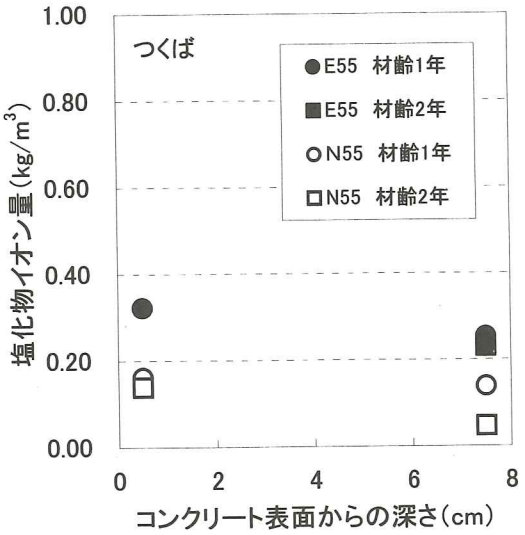


図 3-41 塩化物イオン量測定結果
(つくば, W/C＝55%)

(3) EPMA による面分析結果

新潟県親不知に暴露した供試体の化学成分の分布状況を調べることを目的として、EPMA による面分析を行った。写真編　写真 4-1～写真 4-4 に測定結果を示す。材齢 2 年におけるエコセメントコンクリートの塩化物イオンの浸透深さは、前述の電位差滴定法による塩化物イオンの測定結果と同様に 1～2cm 程度であり、普通セメントコンクリートと同程度であることが確認できた。また、塩化物イオン以外の化学成分の分布状況はエコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートともに時間の経過にともなう変化は認められなかった。

3.6　3章のまとめ

普通エコセメントのレディーミクストコンクリートへの適用性を検討するため、フレッシュコンクリートの性状ならびに標準養生を行った場合の各種性状について検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 普通エコセメントを使用したコンクリートの目標とするスランプ値および空気量を得るために必要な単位水量および空気量調整剤量は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用いた場合よりも若干増加した。また、スランプおよび空気量の経時変化は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートおよび高炉セメントB種を用いたコンクリートとほぼ同等であった。

(2) 普通エコセメントを使用したコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす環境温度の影響を調べた結果、普通エコセメントを使用したコンクリートの所要のスランプ値を得るために必要な単位水量は、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも増加し、その傾向は環境温度が高いほど顕著に現れた。

(3) 普通エコセメントを使用したコンクリートの最終のブリーディング率は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同程度であった。また、普通エコセメントを使用した場合のブリーディングが終了した時間は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して2～3時間程度遅い傾向が認められた。

(4) 普通エコセメントを使用したコンクリートの始発時間および終結時間は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と比較して2～3時間程度長くなった。

(5) 普通エコセメントを使用したコンクリートの断熱温度上昇量は、材齢2日までは普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも高く、発熱がほぼ収束する材齢14日の温度上昇量はほぼ同等であった。

(6) 普通エコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、同一水セメント比で比較すると普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも小さいものの、セメント水比と圧縮強度の関係は一次式で近似できることが明らかになった。

(7) 普通エコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、いずれの環境温度においても、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に推移する傾向を示し、積算温度の対数とほぼ比例関係を示すことが明らかになった。

(8) 普通エコセメントを使用したコンクリートの静弾性係数、曲げ強度および引張強度のそれぞれの圧縮強度との関係は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と同等であった。

(9) 普通エコセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と比較して、質量の減少率が大きいものの、長さ変化率はやや小さくなった。

(10) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と同様に、十分に凍結融解抵抗性を有することが確認された。

(11) 普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化深さは、同一水セメント比の普通ポルトラン

ドセメントを使用した場合よりも大きく、高炉セメントB種を使用した場合よりも若干小さかった。

(12) 普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化速度係数は、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントを使用した場合より若干大きかった。硬化体の全空隙率と中性化速度係数の関係は普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等であった。

(13) 普通エコセメントを使用したコンクリートに埋め込んだ鉄筋について促進腐食試験（JCI-SC2 および JCI-SC3）および屋外暴露試験を2年間実施した結果、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様にほとんど発錆は認められなかった。

(14) 普通エコセメントを使用したコンクリートのアルカリ骨材反応性は、低アルカリ形の普通ポルトランドセメントを使用した場合と同程度であることが確認された。

(15) 普通エコセメントを使用したコンクリートを2年間屋外暴露した結果、細孔径分布、塩化物イオン浸透量および化学成分の分布の材齢にともなう変化は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等であった。

[参考文献]

3-1) 例えば　岡田清、小林和夫、宮川豊章、村本吉弘：マスコンクリートの基本的特性に関する一考察、セメント技術年報、Vol. 34、pp. 230-233、1980

3-2) 例えば　堀口浩司、長曽我部徹、五十畑達夫、鈴木康範：三成分系混合セメントの中性化速度について、セメント・コンクリート論文集、No. 46、pp. 580-585、1992

3-3) 例えば　田代忠一：セメント硬化体中の水分、コンクリート工学、Vol. 32、No. 9、pp. 12-15、1994. 9

3-4) セメント協会：エンサイクロペディア[セメント・コンクリート化学の基礎解説]、p47、1996

4　普通エコセメントのコンクリート製品への適用性に関する研究

4.1　設計強度と製造方法による製品の分類と適用範囲

普通エコセメントのコンクリート製品への適用範囲を明確化するため、製品を設計強度と製造方法により分類し、確認事項を検討した。表 4-1 にコンクリート製品の分類と概要を表 4-2 にはそれぞれの製品に該当する代表的な製品を記載した。分類にあたっては、設計区分を無筋コンクリート、鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリートとし、さらにそれぞれについて設計強度、製造方法により細分した。製造方法は即脱、流し込みおよび遠心成形に大別し、流し込みについては形状の大小で細分した。

普通エコセメントに含有される塩化物量、構造物の重要度、製造の難易度、セメントの需要等を考慮し適用範囲を検討した結果、無筋コンクリート、RC-1、RC-2 および RC-3 までを本共同研究での目標とした。PC-1 については技術的課題の整理等を行い、適用の可能性について検討する必要がある。また、遠心成形（RC-4）に関しては製造方法が特殊であること、プレストレストコンクリート分野の PC-2 については、普通エコセメント中に含まれる塩化物イオン量が 0.05％(500ppm) 程度であるためコンクリート中の塩化物イオン量の規格値 0.20kg／m^3 を満すことが困難な場合も考えられることから、対象外とした。

表 4-1　工場製品の分類と概要

構造の種類	細分類	対象製品の概要
無筋コンクリート (URC)	URC	補強材として鉄筋を使用せず、振動締固めまたは振動・加圧締固め方法により成形するコンクリート製品
鉄筋コンクリート (RC)	RC-1	設計基準強度が 30N/mm^2 未満であり、振動締固め方法により成形する小型の鉄筋コンクリート製品
	RC-2	設計基準強度が 30N/mm^2 以上であり、振動締固め方法により成形する中型の鉄筋コンクリート製品で、製造時に水和熱の影響を無視できるもの
	RC-3	設計基準強度が 30N/mm^2 以上であり、振動締固め方法により成形する大型の鉄筋コンクリート製品で、製造時に水和熱の影響を考慮する必要があるもの
	RC-4	遠心力締固めまたはロール転圧方法により成形される鉄筋コンクリート製品
プレストレストコンクリート (PC)	PC-1	振動締固め方法により成形されるプレストレストコンクリート製品
	PC-2	遠心力締固めまたはロール転圧方法により成形されるプレストレストコンクリート製品

表 4-2　コンクリート製品の分類

製造方法＼設計区分	強度	無筋コンクリート（ＵＲＣ） 18	24	30	40↑	鉄筋コンクリート（ＲＣ） 18	24	30	40↑	プレストレストコンクリート（ＰＣ） 18	24	30	40↑
振動・加圧締固め		ＵＲＣ コンクリート平板 境界ブロック			インターロッキングブロック		―				―		
振動締固め	形状 小→大	コンクリート平板 境界ブロック L形側溝 土木ブロック			―		ＲＣ－１ L形側溝 U形側溝 土木ブロック	ＲＣ－２ 擬木 コンクリートセグメント 擁壁			―		ＰＣ－１ 枕木 ボックスカルバート 橋桁
							―	ＲＣ－３ 大型製品 ボックスカルバート					
その他特殊な製造方法	遠心力締固め ロール転圧	―					―	ＲＣ－４ ヒューム管 推進管パイル			―		ＰＣ－２ ボールパイル

4.2 実験概要

表 4-3 にコンクリート製品に関する全体の実験概要を示す。本章では普通エコセメント（記号：E）のコンクリート製品への適用性を検討するため、フレッシュコンクリートの性状ならびに蒸気養生を行った場合の強度特性、耐久性について調査し、普通ポルトランドセメント（記号：N）と比較・検討した。また、本研究においては新潟県親不知および茨城県つくば市において屋外暴露試験を実施し（写真編　写真 3 参照）、実供用環境におけるコンクリートの性状について検討を行った。ただし、表 4-3 中に示す試験項目のうち重金属類の溶出試験の詳細については 5 章に記載する。

表 4-3　実験概要

						E					N				
配合		セメントの種類				E					N				
		W／C（%）				55	50	45	40	35	55	50	45	40	35
		スランプ（cm）				16					16				
		空気量（%）				4.5					4.5				
		混和剤の種類				高性能 AE 減水剤					高性能 AE 減水剤				
		養生方法				蒸気養生					蒸気養生				
フレッシュ性状		スランプ（ロス）	室内	JIS A 5308		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		塩化物イオン量	室内	JIS A 5308		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
硬化コンクリート	強度特性	圧縮強度 静弾性係数	室内	1 日		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				14 日		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			暴露	6 ヶ月		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
				1 年		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
				2 年		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
				3 年		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		曲げ強度	室内	1 日		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
				14 日		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
	耐久性	乾燥収縮	室内	JIS A 1129		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		凍結融解	促進	JIS A 1148	Non-AE	−	−	○	−	−	−	−	○	−	−
					4.5%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
					6.0%	○	○	−	−	−	−	○	○	−	−
		相対動弾性係数	暴露	JIS A 1127	4.5%	−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
					6.0%	−	○	−	−	−	−	−	−	−	−
		中性化	促進	温度:20℃ 湿度:60% CO_2 濃度:5%		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			暴露	つくば		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		鉄筋の発錆	促進	JCI－SC3		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
			暴露	つくば、親不知		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		型枠の発錆	室内	目視		−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		細孔径分布	暴露	水銀圧入法 ポロシメータ	つくば	−	○	−	−	−	−	○	−	−	−
					親不知	−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		塩化物イオン量	暴露	電位差滴定法	つくば	−	○	−	−	−	−	○	−	−	−
					親不知	−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
		EPMA 面分析	暴露	親不知		−	○	−	−	−	−	○	−	−	−
	重金属類溶出試験		室内	環告 46 号法		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			暴露	環告 46 号法	つくば	−	○	−	○	−	−	○	−	○	−
					親不知	−	○	−	○	−	−	○	−	○	−

コンクリートの水セメント比は、4.1 節で述べた適用範囲におけるコンクリート製品の配合を包含するように 35%～55%とした。なお、コンクリート製品に関する JIS 規格においては、水セメント比は 50%以下と規定されているが、強度および耐久性をより広い範囲において評価する目的で水セメント比 55%の水準を取り上げた。また、凍結融解抵抗性試験においては、空気量の影響を検討するため、練上がり直後の空気量を標準の 4.5%に加えて、6.0%および Non-AE コンクリート (2.0%) を水準として検討した。

4.2.1 使用材料

本実験に使用した材料を表 4-4 に、使用したセメントの化学成分と鉱物組成を表 4-5 に示す。使用材料はセメントとして普通エコセメント (E) および普通ポルトランドセメント (N)、細骨材には静岡県小笠産陸砂（密度：2.60g/cm^3、粗粒率：2.87)、粗骨材には茨城県岩瀬産砕石（密度：2.63g/cm^3、最大寸法 20mm）を用いた。

高性能 AE 減水剤 (SP) にはポリカルボン酸系を用い、空気量の調整には変性ロジン酸化合物系 (A) および変性アルキルカルボン酸化合物系 (B) の AE 剤を使用した。使用した骨材の試験を JIS A 1109「細骨材の密度および吸水率試験方法」および JIS A 1103「骨材の洗い試験方法」に準じて行った。骨材試験の結果を表 4-6、図 4-1 および図 4-2 に示す。

表 4-4 使用材料一覧

使用材料	銘柄／成分
セメント	普通エコセメント (E)
	普通ポルトランドセメント (N)
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系 (コアフローNP-55、太平洋セメント社製、記号 SP)
AE 剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤 (CAE-30、太平洋セメント社製、記号 A) 変性アルキルカルボン酸化合物系 (マイクロエア 775S、エヌエムビー社製、記号 B)
粗骨材	茨城県西茨城郡岩瀬町産砕石 5 号、6 号（6：4 で混合）
細骨材	静岡県小笠郡浜岡町産陸砂
水	水道水

表 4-5 セメントの化学成分と鉱物組成

セメント種類	化学成分 (%)									鉱物組成 (%)			
	ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	Cl^-	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
E	1.1	17.8	7.2	4.1	61.1	1.8	3.9	0.3	0.054	49	12	14	13
N	1.5	22.2	5.1	3.2	65.1	1.4	2.0	0.7	0.004	52	23	8	10

表 4-6 細骨材および粗骨材の試験結果一覧

骨材種類	岩瀬産砕石５号	岩瀬産砕石６号	小笠産陸砂
F.M.	7.06	6.34	2.87
表乾密度 (g/cm^3)	2.64	2.62	2.60
絶乾密度 (g/cm^3)	2.62	2.59	2.56
吸水率 (%)	0.65	1.03	1.37
単位容積質量 (kg/L)	1.59	1.56	－
実積率 (%)	60.7	60.2	－
洗い試験 (%)	－	－	0.81

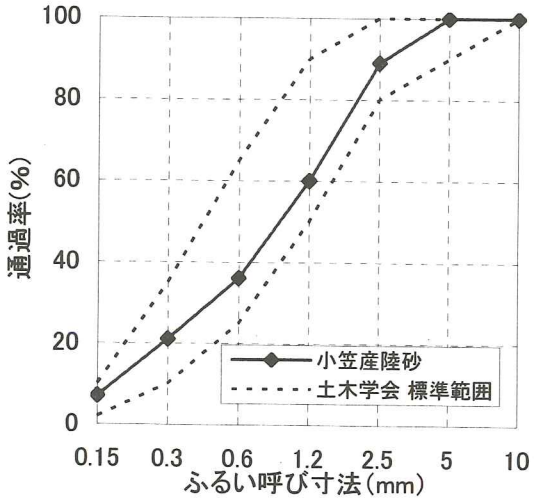


図4-1　細骨材の粒度曲線

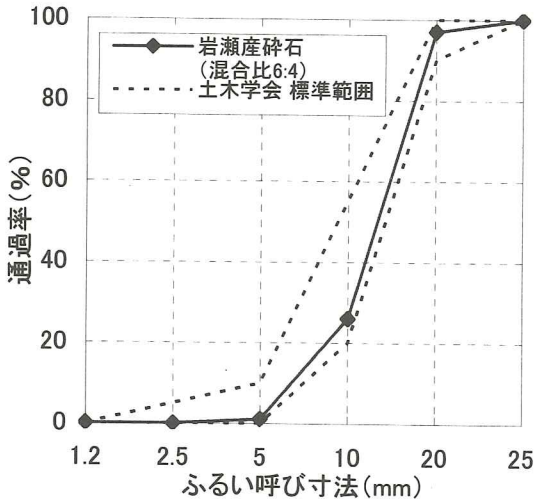


図4-2 粗骨材の粒度曲線

4.2.2　コンクリート配合

コンクリートの基本配合を表4-7に示す。本試験においては、いずれの水セメント比の場合においても単位水量を168kg/m³とし、練上がり直後のスランプ値が16cmとなるよう高性能AE減水剤の添加量により調整した。空気量は、AE剤の添加量により、練上がり直後の値が2.0%、4.5%および6.0%になるように調整した。

表4-7　コンクリートの基本配合

セメントの種類	配合条件			単位量 (kg/m³)					添加率 (%)	
	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	W	C	S	G5号	G6号	SP C×%	AE剤* C×%
E	35	43	4.5	168	480	712	575	381	1.00	0.0160
	40	44	4.5	168	420	750	582	385	0.80	0.0090
	45	45	4.5	168	373	784	584	386	0.75	0.0070
	50	46	4.5	168	336	816	583	386	0.80	0.0060
	55	47	4.5	168	305	845	581	384	0.80	0.0040
N	35	44	4.5	168	480	727	563	373	0.45	0.0035
	40	45	4.5	168	420	765	570	377	0.45	0.0030
	45	46	4.5	168	373	800	572	379	0.35	0.0020
	50	47	4.5	168	336	832	571	378	0.30	0.0020
	55	48	4.5	168	305	862	569	376	0.30	0.0010

*AE剤：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤(A)

4.2.3 供試体の作製

コンクリートの練混ぜは、温度 20℃、湿度 80％の恒温恒湿室において、強制練りパン型ミキサ（公称容量 100L）を用いて行った。粗骨材、セメント、細骨材の順に材料をミキサ内に投入し 30 秒間空練りを行った後、水を投入しさらに 90 秒間練り混ぜた。練混ぜ終了後はφ10×20cm、10×10×40cm、15×15×53cm の型枠内に成形した。その後、蒸気養生を行った。蒸気養生条件は図 4-3 に示すように、前置き 3 時間、昇温速度 20℃／時、最高温度 65℃を 3 時間保持、以後自然降温とした。

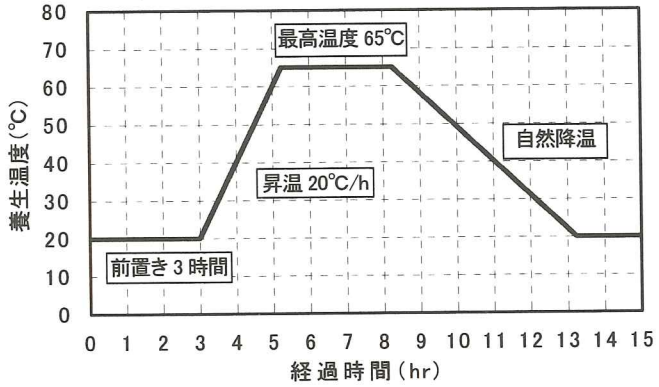


図 4-3　蒸気養生条件

4.2.4 試験方法

(1) フレッシュコンクリート試験

練上がり直後と練上がり 30 分後(静置)において、スランプ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1128)および塩化物イオン量測定試験（簡易法；コンクリート中に試験紙を挿入して目盛の読みを Cl^- 濃度に換算する方法）を実施した。

(2) 圧縮強度および静弾性係数試験

圧縮強度は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に、静弾性係数は JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準拠して測定した。

蒸気養生後は、恒温恒湿室(温度 20℃、相対湿度 60％)で養生し、試験材齢は 1 日(蒸気養生後)および 14 日とした。暴露の場合は、恒温恒湿室にて 14 日間養生した供試体を土木研究所暴露試験所(茨城県つくば市)および新潟県親不知の 2 箇所に設置し、試験材齢を 6 ヶ月、1 年、2 年および 3 年とした。

(3) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠した。蒸気養生後は、恒温恒湿室(温度 20℃、相対湿度 60％)で養生し、試験材齢は 1 日(蒸気養生後)および 14 日とした。

(4) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠した。供試体寸法は 10×10×40cm とし、1 水準 3 本とした。蒸気養生後、供試体温度を恒温恒湿室内で安定させ、基長を測定した。試験は温度 20℃、相対湿度 60％の室内で実施し、測定材齢は 2, 3, 4, 6, 10, 15, 28 週および 1 年とした。

(5) 凍結融解試験

蒸気養生後、材齢 14 日まで水中養生を行い、試験を開始した。促進試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、300 サイクルまで原則として 30 サイクル毎に、動弾性係数および質量を測定した。暴露の場合は、凍結融解を受ける新潟県親不知に供試体を設置し、材齢 1 年、2 年および 3 年において動弾性係数および質量を測定することとした。また、水セメント比 50%の水準において、ASTM C 457「リニアトラバース法」に準拠し、気泡間隔係数の測定を行った。

(6) 中性化試験

供試体寸法は、10×10×40cm とし、1 水準 2 本とした。促進試験は、建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説 付 1. コンクリートの促進中性化試験方法（案）」に準拠し、温度 20℃, 相対湿度 60%, CO_2 濃度 5%の雰囲気中で保存し、フェノールフタレイン噴霧法により材齢 1, 4, 8, 13, 26 週にて中性化深さを測定した。暴露試験の場合は、土木研究所暴露試験所(茨城県つくば市)に供試体を静置し、測定材齢は 6 ヶ月、1 年、2 年および 3 年とした。また、エコセメントコンクリートの中性化性状に及ぼす硬化体緻密度の影響を調べることを目的として、促進試験前の養生条件を以下に示す 3 種類として、中性化速度係数と圧縮強度および硬化体全空隙率との関係について検討を行った。

1. 蒸気養生→気中養生(2w)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・養生Ⅰ
2. 蒸気養生→標準養生(2w)→気中養生(4w)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・養生Ⅱ
3. 蒸気養生→気中養生(2w)→標準養生(4w)→気中養生(4w)・・・・・・養生Ⅲ（暴露試験）

(7) 鋼製型枠の発錆の有無

蒸気養生後において、型枠内面の発錆状況を写真撮影により調べた。

(8) 鉄筋の腐食試験

供試体の形状は、図 3-1 に示したものと同様である。養生方法は、蒸気養生後、恒温恒湿室(温度 20℃、相対湿度 60%)にて 14 日間気中養生を行った。促進試験方法は、JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－乾湿繰返し法－」に準拠した。暴露の場合は、供試体を土木研究所暴露試験所(茨城県つくば市)および新潟県親不知の 2 ヶ所に設置し、試験材齢は、1 年、2 年、3 年および 5 年以上とした。

(9) 硬化体の分析

供用環境下における硬化体性状の変化を確認することを目的として、屋外に暴露したエコセメントコンクリートの空隙構造、化学成分および塩化物イオンの浸透状況の測定を行った。測定は、それぞれ水銀圧入式ポロシメータ、EPMA 面分析および電位差滴定法により行い、測定材齢を 6 ヶ月、1 年、2 年、3 年および 5 年とした。

4.3 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュ性状の試験結果一覧を表 4-8 に示す。

(1) スランプ

練上がり直後の目標スランプ値を 16cm、目標空気量を 4.5%とした場合のスランプの経時変化を図 4-4 に示す。エコセメントコンクリートのスランプロスは普通セメントコンクリートより若干大きくなる傾向が認められた。

(2) 空気量

AE 剤 A を用い練上がり直後の目標空気量を 4.5%とした場合の空気量の経時変化を図 4-5 に示す。エコセメントコンクリートの空気量の経時変化は、普通セメントコンクリートより若干大きくなる傾向が認められた。すなわち、全配合の練混ぜ 30 分後(静置)の空気量の平均低下量は、普通セメントコンクリートの場合約 1%、エコセメントコンクリートの場合約 2%となった。また、AE 剤の種類の影響については、セメントの種類によらず、AE 剤 A を用いた場合の方が AE 剤 B を用いた場合より空気量の経時変化がやや大きくなる傾向が認められた。

(3) コンクリート温度

エコセメントコンクリートの練上がり直後の温度は、普通セメントコンクリートより、1～2℃程度高くなった。これは、普通エコセメントの粉末度が高く C_3A 含有量が多いため、水和初期の発熱が増大するためと推察される。

(4) 塩化物イオン量

普通エコセメントには 0.05%程度の塩化物イオンが含まれているが、フレッシュコンクリート中の水溶性塩化物イオン量は 0.05～0.07kg/m³ であり、セメント鉱物中に固定されている塩化物イオンの一部しか溶出せず、JIS A 5308 の規格値 0.30kg/m³ を下まわった。

表 4-8　フレッシュ性状試験結果一覧

ｾﾒﾝﾄ種類	配合条件				フレッシュ性状						
	W/C (%)	s/a (%)	目標空気量 (%)	AE剤種類	スランプ（cm）		空気量（%）		ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)		塩化物イオン量 (kg/m³)
					0分	30分	0分	30分	0分	30分	
E	35	43	4.5	A	15.8	11.7	4.0	2.2	25.0	22.0	—
	40	44	4.5	A	17.5	6.2	5.5	3.2	22.0	22.0	0.07
	45	45	Non-AE	—	16.0	—	1.9	—	24.0	—	—
			4.5	A	14.7	5.2	5.1	2.2	23.0	22.0	0.07
			6.0	B	16.0	5.0	7.0	4.1	23.5	23.5	—
	50	46	4.5	A	18.5	7.6	4.5	2.8	22.0	21.5	0.06
			6.0	A	18.5	8.5	6.4	4.2	22.0	22.0	—
				B	17.0	7.5	6.3	4.4	23.0	23.0	—
	55	47	4.5	A	15.6	8.2	3.8	2.8	22.0	21.0	0.05
			6.0	A	18.0	8.5	6.5	4.8	23.0	22.0	—
				B	17.5	10.0	6.0	5.0	22.0	22.0	—
N	35	44	4.5	A	12.5	8.5	3.7	2.4	21.5	21.0	0.04
	40	45	4.5	A	17.2	10.2	4.8	3.3	21.0	20.5	0.03
	45	46	Non-AE	—	13.0	—	1.2	—	22.0	—	—
			4.5	A	18.0	10.5	5.3	3.6	21.0	20.0	0.03
	50	47	4.5	A	16.0	9.5	5.1	4.1	21.0	20.0	0.03
			6.0	B	16.5	11.5	5.8	5.2	21.0	21.5	—
	55	48	4.5	A	14.5	11.0	4.1	3.9	21.0	20.0	0.03

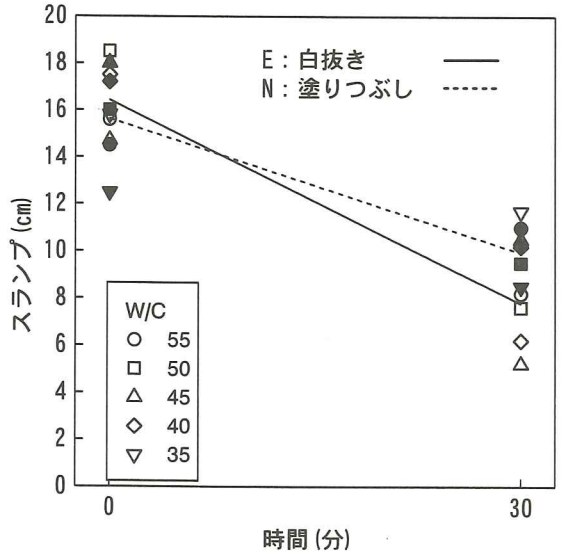


図 4-4　スランプの経時変化

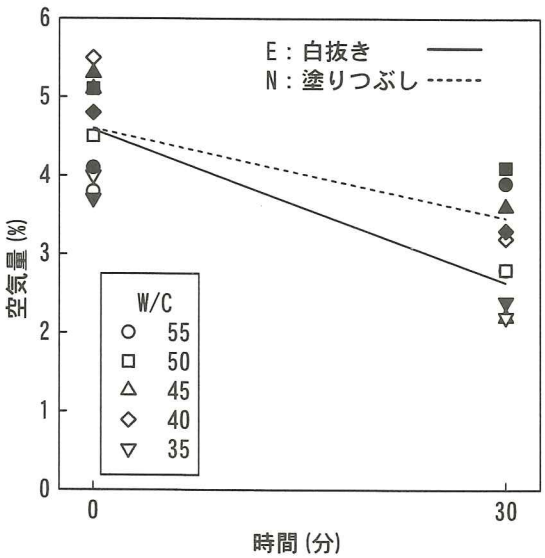


図 4-5　空気量の経時変化

4.4 強度試験結果

4.4.1 圧縮強度試験結果

圧縮強度の試験結果を表 4-9 に、セメント水比と圧縮強度の関係を図 4-6 に示す。また、材齢 14 日の強度を材齢 1 日の強度で割った値を「強度増加率」として図 4-7 に示す。個々の試験データは資料 17 に掲載した。

エコセメントコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係は、普通セメントコンクリートと同様に一次式で表現できセメント水比則が成立することが認められた。また、エコセメントコンクリートの圧縮強度は同一水セメント比の普通セメントコンクリートと同程度であり、水セメント比と圧縮強度の増加率の関係においても、普通ポルトランドセメントを使用した場合との差違は認められなかった。

表 4-9　圧縮強度試験結果一覧

セメントの種類	W／C (%)	圧縮強度 (N／mm²)			
		材齢 1 日	標準偏差	材齢 14 日	標準偏差
E	55	18.1	1.12	30.6	0.40
	50	19.8	0.82	31.4	0.62
	45	25.1	0.80	36.9	1.17
	40	28.6	2.04	42.8	2.05
	35	41.3	0.47	54.2	1.47
N	55	19.8	0.20	33.2	2.02
	50	20.9	0.81	33.6	2.50
	45	25.1	0.44	37.1	2.66
	40	32.6	0.98	45.2	1.42
	35	39.0	2.82	51.0	0.81

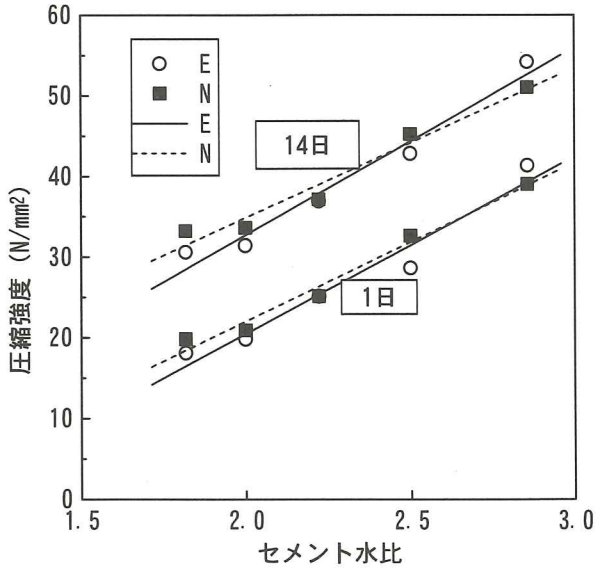


図 4-6　セメント水比と圧縮強度の関係

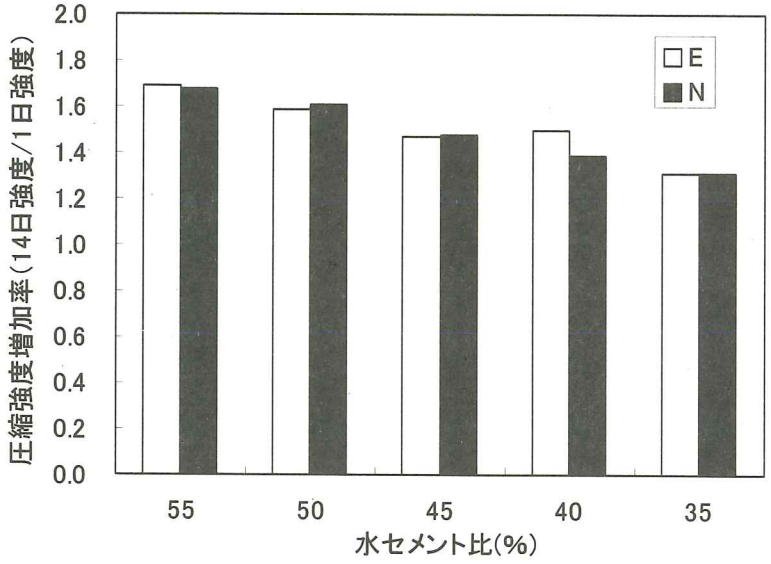


図 4-7　圧縮強度の増加率の関係

4.4.2　静弾性係数

静弾性係数の測定結果一覧を表 4-10 に示す。また、材齢 1 日の静弾性係数で材齢 14 日の静弾性係数を割った値を「静弾性係数の増加率」として図 4-8 に、圧縮強度と静弾性係数の関係を図 4-9 に示す。個々の試験データは資料 17 に掲載した。

エコセメントコンクリートの静弾性係数の増加率は、普通セメントコンクリートと同程度であることが認められた。また、圧縮強度と静弾性係数の関係においても、エコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートは同様な関係を示し、その関係は土木学会コンクリート標準示方書式(施工編平成 8 年制定：マスコンクリート、$Ec=4,700\sqrt{f'_c}$)でほぼ近似できることが認められた。

表 4-10　静弾性係数測定結果一覧

ｾﾒﾝﾄの種類	W／C (%)	静弾性係数　(kN／mm²)	
		材齢 1 日	材齢 14 日
E	55	25.1	27.1
	50	20.6	25.1
	45	22.8	26.0
	40	23.6	25.8
	35	26.4	29.6
N	55	23.4	28.1
	50	23.0	27.2
	45	26.6	27.7
	40	26.5	32.8
	35	31.1	31.9

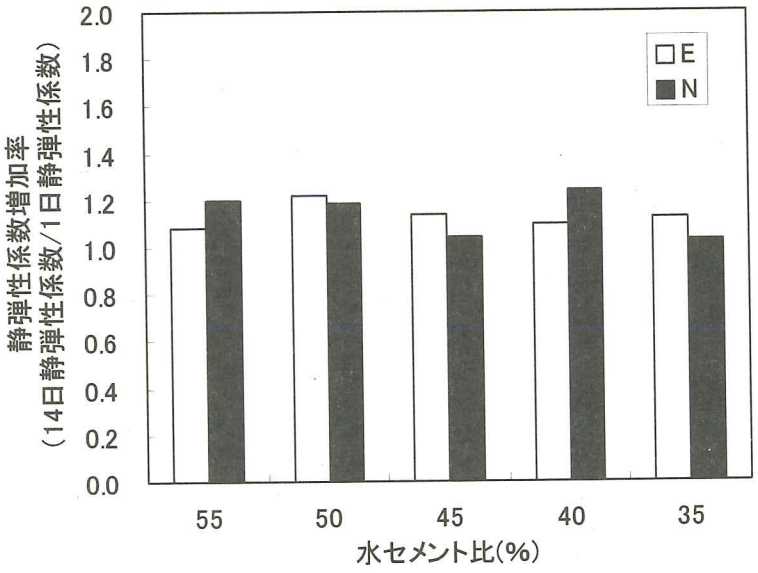


図 4-8　静弾性係数の増加率

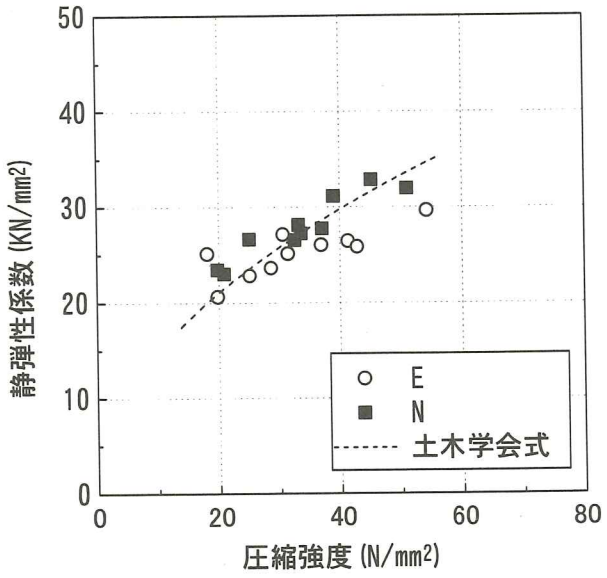


図 4-9　圧縮強度と静弾性係数の関係

4.4.3　曲げ強度

曲げ試験結果を表 4-11 に、圧縮強度と曲げ強度の関係を図 4-10 に示す。また、図 4-11 に圧縮強度と圧縮強度に対する曲げ強度の比率の関係を示す。個々の試験データは資料 18 に掲載した。

圧縮強度と曲げ強度の関係については、エコセメントコンクリートは普通セメントコンクリートと同等の関係を示し、その関係は土木学会コンクリート標準示方書式(設計編　平成 8 年制定：$f_{bk}=0.42f'_{ck}{}^{2/3}$) で近似できる可能性が認められ、エコセメントコンクリートの圧縮強度に対する曲げ強度の比は、普通セメントコンクリートと同様の傾向を示した。

表 4-11　曲げ強度試験結果一覧

ｾﾒﾝﾄの種類	W／C (%)	曲げ強度 (N／mm²)			
		材齢 1 日	標準偏差	材齢 14 日	標準偏差
E	50	3.66	0.12	4.00	0.18
	40	4.54	0.45	4.54	0.33
N	50	3.91	0.18	3.96	0.28
	40	4.74	0.09	3.91	0.19

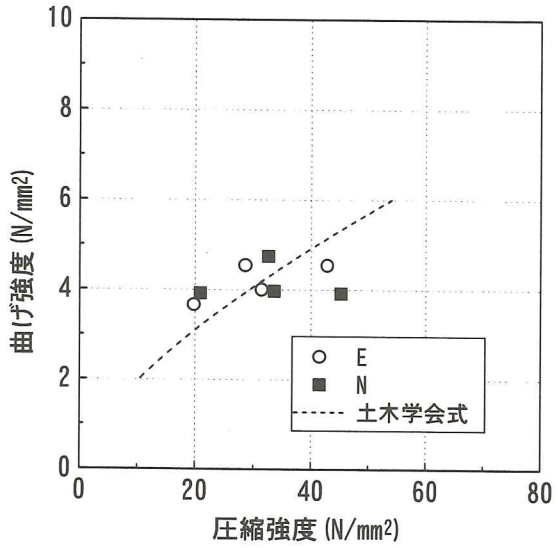


図 4-10　圧縮強度と曲げ強度の関係

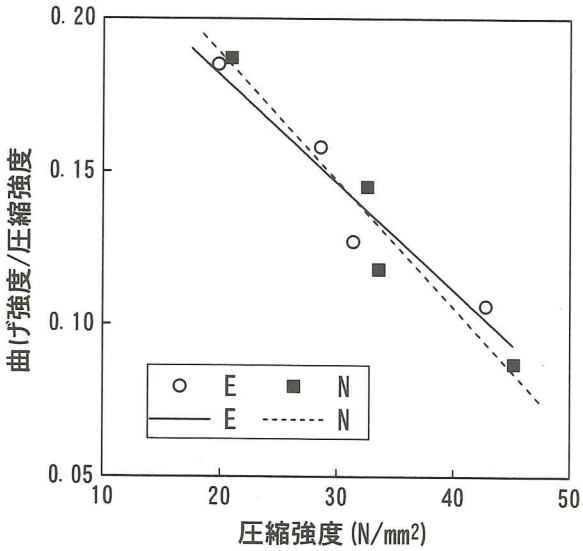


図 4-11　圧縮強度と曲げ強度の比

4.5　促進耐久性試験結果

4.5.1　乾燥収縮試験結果

乾燥収縮試験結果として長さ変化率の経時変化を図 4-12 に、質量変化率の経時変化を図 4-13 に示す。資料 19 に乾燥収縮試験結果を掲載した。エコセメントコンクリートの長さ変化率は、試験材齢および水セメント比に関係なく普通セメントコンクリートよりも小さくなった。また、長さ変化率に及ぼす水セメント比の影響は、エコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートともに明確には認められなかった。エコセメントコンクリートの最終的な質量減少率は普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して同等かやや小さくなった。

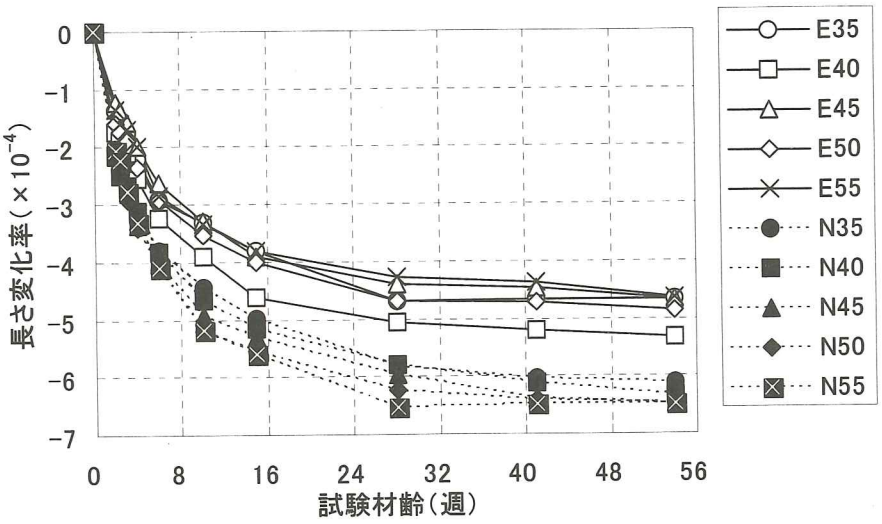


図 4-12　材齢と長さ変化率の関係

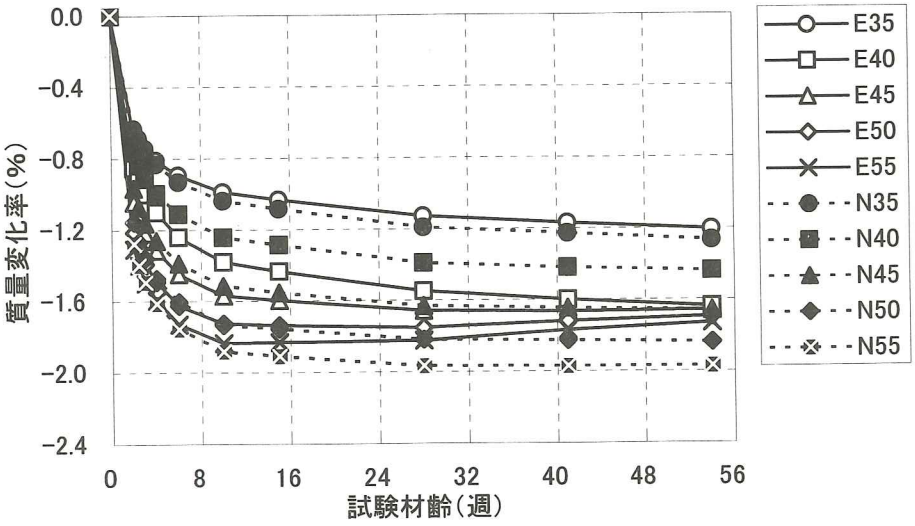


図 4-13　材齢と質量変化率の関係

4.5.2 凍結融解試験結果

(1) サイクル数と相対動弾性係数の関係

表 4-12 に相対動弾性係数の測定結果から求めた耐久性指数の一覧を示す。また、図 4-14～図 4-16 に普通ポルトランドセメントを使用した場合のサイクル数と相対動弾性係数の関係を、図 4-17～図 4-19 にエコセメントコンクリートの場合のサイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。なお資料 20 に凍結融解試験結果を掲載した。4.3 で述べたようにエコセメントコンクリートの空気量の経時変化は、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも大きくなったため、実際に供試体に含まれる空気量に近いと思われる練混ぜ 30 分後の空気量により検討した。

図 4-14～図 4-16 に示すように、普通ポルトランドセメントを使用した場合は、AE コンクリートとした場合、凍結融解 300 サイクル終了時の相対動弾性係数は 60％を上まわり、劣化は見られなかった。また、水セメント比が 40％および 35％の場合も、耐久性指数は 100 近く、十分な凍結融解抵抗性を示した。なお、Non-AE コンクリートの場合は、30 サイクル程度で相対動弾性係数 60％を下まわった。

一方、エコセメントコンクリートの場合は、図 4-17～図 4-19 に示すように、水セメント比 45％以上においては、いずれの AE 剤を用いた場合も 30 分経過後の空気量が 4.0％程度であれば、凍結融解 300 サイクル終了時の相対動弾性係数は 100％程度で劣化は認められなかった。しかしながら、A タイプの AE 剤を用い目標空気量を 4.5％とした場合は、30 分後の空気量が 3.0％を下まわり（表 4-8 参照）、水セメント比 45％では 190 サイクル、水セメント比 50％および 55％では 30～40 サイクル終了時点で相対動弾性係数は 60％を下まわった。なお、表 4-12 に示すように、水セメント比 40％および 35％の低水セメント比の場合は、耐久性指数は 100 近く、十分な凍結融解抵抗性を示した。また、Non-AE コンクリートの場合では普通セメントコンクリートと同様に、20 サイクル程度で相対動弾性係数 60％を下まわった。

表 4-12　耐久性指数一覧

セメント種類	W/C (%)	AE 剤種類および空気量			
		A-4.5%	A-6.0%	B-6.0%	Non-AE 2.0%
E	35	100.2	—	—	—
	40	88.3	—	—	—
	45	37.7	—	97.3	13.3
	50	7.90	98.3	97.0	—
	55	5.94	100.6	98.8	—
N	35	99.6	—	—	—
	40	93.9	—	—	—
	45	99.6	—	—	23.8
	50	96.5	—	97.0	—
	55	89.9	—	—	—

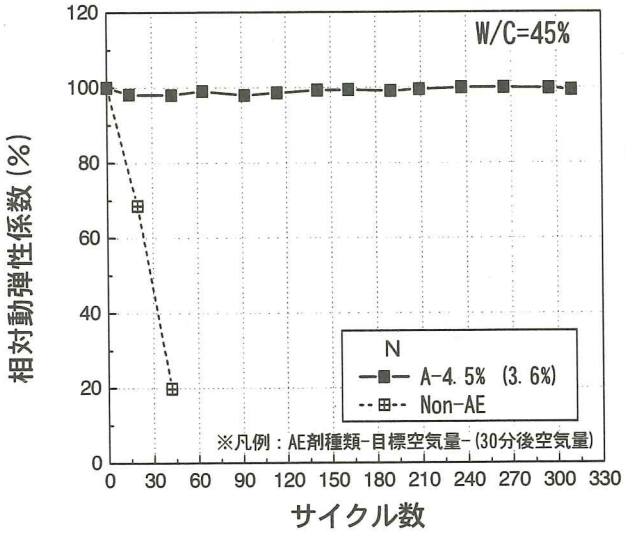


図 4-14　凍結融解試験結果（W/C=45%, N）

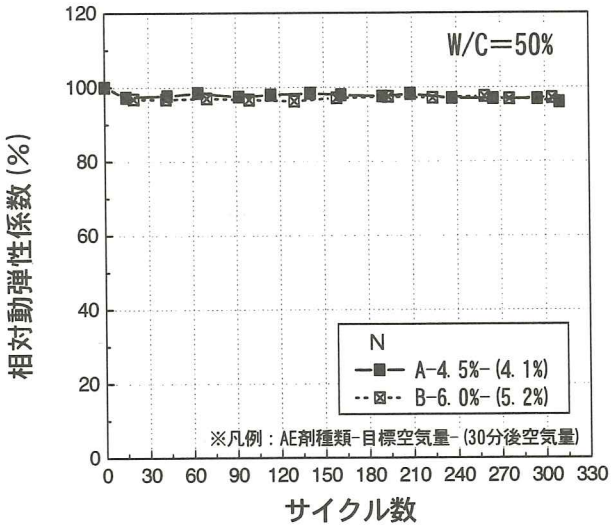


図 4-15　凍結融解試験結果（W/C=50%, N）

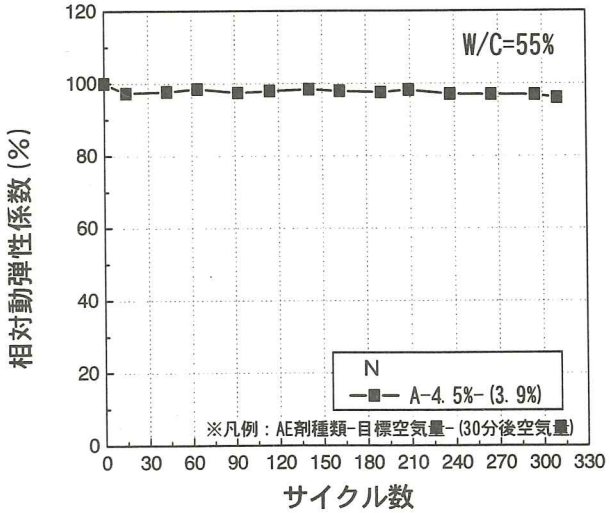


図 4-16　凍結融解試験結果　（W/C=55%,　N）

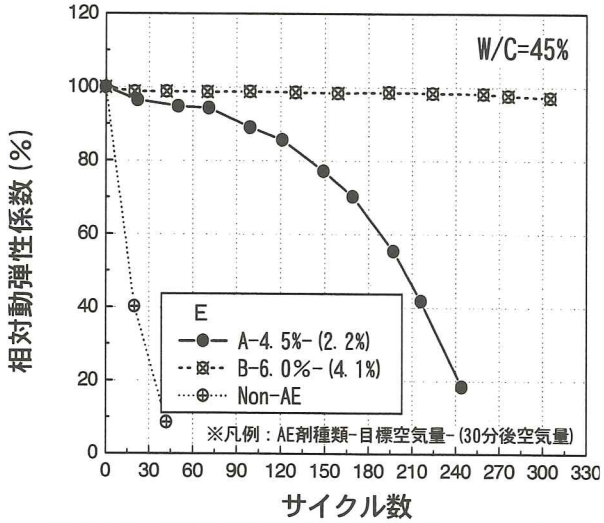


図 4-17　凍結融解試験結果（W/C=45%, E)

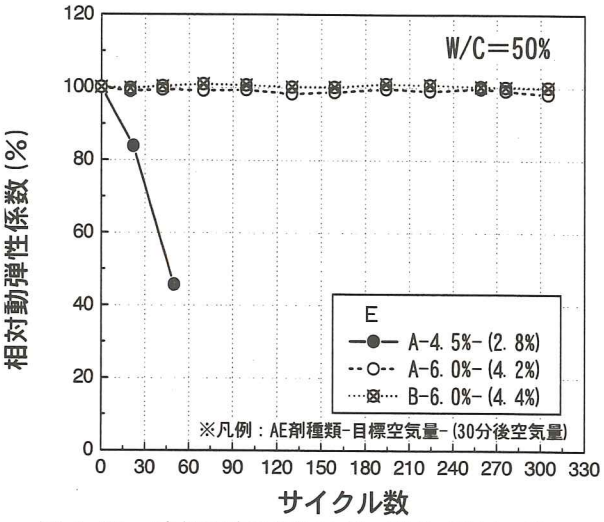


図 4-18　凍結融解試験結果（W/C=50%, E)

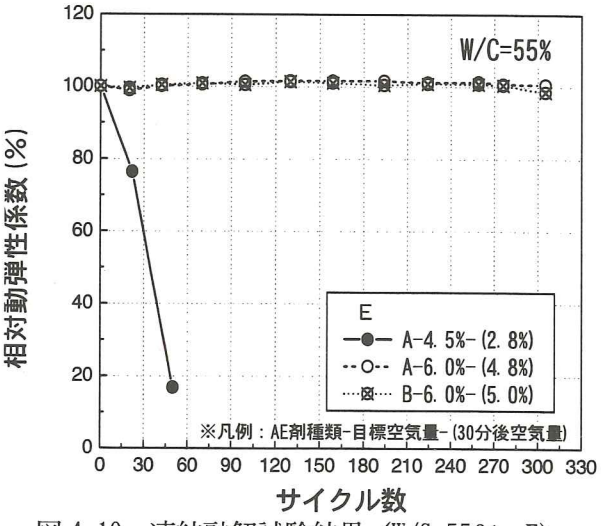


図 4-19　凍結融解試験結果（W/C=55%, E)

(2) 30 分後の空気量と耐久性指数の関係

本試験ではAタイプのAE剤を用いた場合に30分後の空気量が3.0%を下まわった水準において劣化が生じた。そこでエコセメントコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼすコンクリート中の気泡の影響を明らかにすることを目的として練混ぜ 30 分後の空気量および気泡間隔係数が凍結融解抵抗性に及ぼす影響を調べた。

図4-20に水セメント比45～55%の水準について空気量(30分後)と耐久性指数との関係を示す。空気量が3.0%程度以上では、耐久性指数は60を上まわっており十分な凍結融解抵抗性が得られることが確認できた。

図 4-21 に気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。コンクリートの耐久性指数には気泡間隔係数が大きく影響し250～300μmを超えると凍結融解により劣化が生じるという報告がある[4-1) 4-2)]。本実験結果では、30分後の空気量が4.0%程度確保されている水準は、気泡間隔係数が300μm未満と小さく劣化が生じていない。一方、30 分後の空気量が 2.8%の水準では気泡間隔係数が大きくなり (498μm) 劣化が著しくなった。これらの結果から普通エコセメントを使用した場合においても普通ポルトランドセメントの場合と同様、空気量の影響が大きいことが認められた。

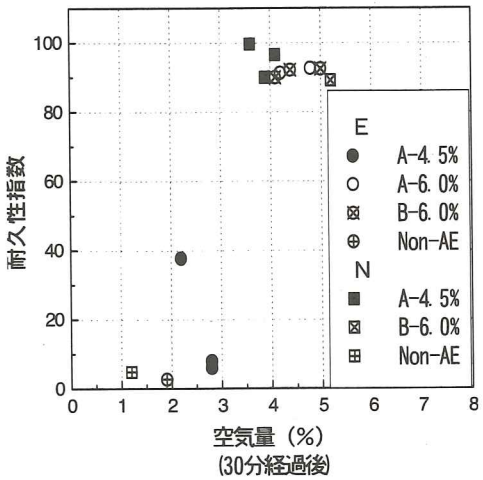


図4-20　空気量と耐久性指数の関係

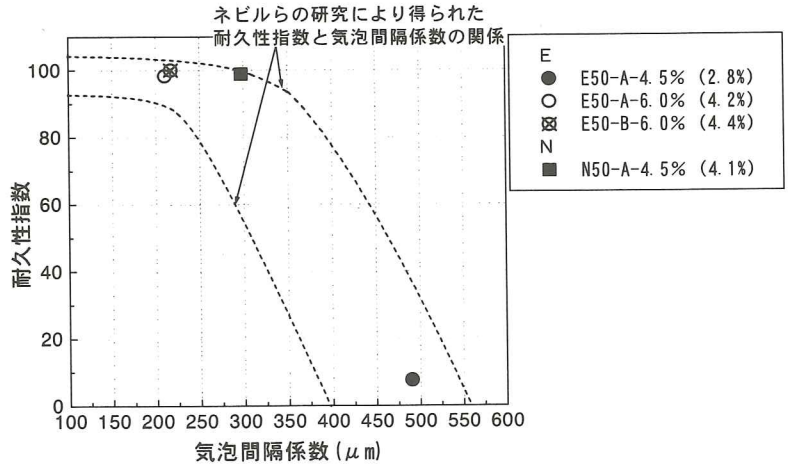


図4-21　気泡間隔係数と耐久性指数の関係

(3) 質量変化率測定結果

表 4-13 に測定終了時の質量変化率を示す。測定終了時のサイクル数がほぼ等しい水準において、水セメント比別にセメント種類の影響を比較すると、水セメント比が 50%以上では普通エコセメントを使用した場合の方が質量変化率は若干大きくなる傾向が見られたが、水セメント比が 40%以下では質量変化率はほぼ同等の結果となった。

表 4-13　質量変化率

セメント種類	W/C (%)	AE 剤種類および空気量			
		A		B	Non-AE
		4.5%	6.0%	6.0%	2.0%
E	35	-0.7 (317)	—	—	—
	40	-1.6 (317)	—	—	—
	45	-5.2 (197)	—	-1.9 (305)	0.4 (42)
	50	-1.5 (50)	-4.1 (305)	-3.2 (305)	—
	55	-1.8 (50)	-3.9 (305)	-3.0 (305)	—
N	35	-0.4 (310)	—	—	—
	40	-2.1 (310)	—	—	—
	45	-1.8 (310)	—	—	-0.1 (42)
	50	-2.9 (310)	—	-1.9 (305)	—
	55	-5.2 (310)	—	—	—

※　( ) 内は測定終了時のサイクル数を示す。

(4) まとめ

普通エコセメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に、所定の空気量を確保することで良好な凍結融解抵抗性が得られることが分かった。また、普通エコセメントを用いた場合、AE 剤と使用材料の組合せにより空気量の経時低下が大きくなる場合には、凍結融解抵抗性が低下することが認められた。したがって、普通エコセメントを使用する場合においても普通ポルトランドセメントを使用する場合と同様に、事前に試験練りを行い十分な空気量を確保できるように適切な AE 剤種類や添加量等を検討し、配合の決定を行う必要がある。

4.5.3 促進中性化試験結果

(1) 水セメント比の影響

図 4-22 および図 4-23 に促進中性化試験結果を示す。なお、資料 21 に測定データを掲載した。試験材齢 26 週におけるエコセメントコンクリートの中性化深さは、同一水セメント比の普通ポルトランドセメントを使用した場合を上回った。しかし、エコセメントコンクリートの中性化深さは、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に、水セメント比が小さくなるほど小さくなり、普通ポルトランドセメントを使用した場合との差も小さくなった。

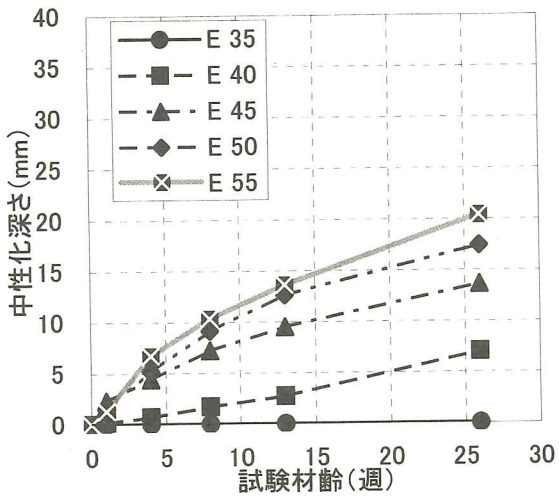


図 4-22 中性化深さ測定結果 (E)

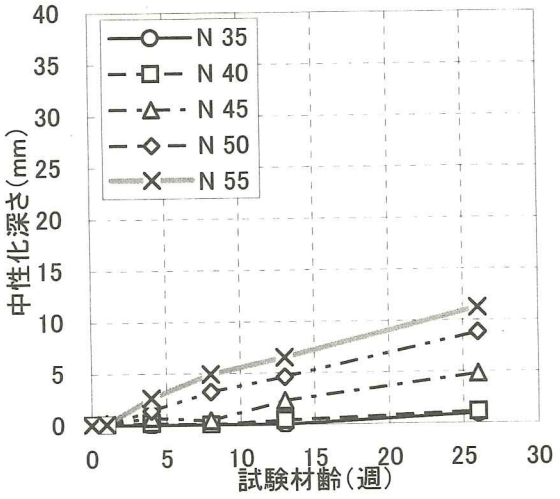


図 4-23 中性化深さ測定結果 (N)

(2) 中性化速度に及ぼす硬化体空隙率の影響に関する検討

図 4-24 および図 4-25 に異なる養生条件において行った中性化試験結果を示す。なお、資料 22 に測定データを掲載した。エコセメントコンクリートの中性化深さは、すべての養生条件において、同一養生条件の普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも大きくなった。また、エコセメントコンクリートの中性化深さは、水中養生を行わない養生Ⅰよりも、水中養生を行った養生ⅡおよびⅢの方が小さくなった。養生Ⅱと養生Ⅲを比較すると水中養生を開始する材齢およびその期間の影響は明確に表れておらず、ほぼ同等の結果であった。

図 4-26 に中性化試験開始直前に行った圧縮強度と中性化速度係数の関係を示す。また、資料 23 に圧縮強度試験結果を示す。エコセメントコンクリートの中性化速度係数は、圧縮強度が高いほど小さくなる傾向が認められたが、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも大きくなった。図 4-27 に中性化試験後の供試体より採取した未中性化部分のコンクリートの全空隙率と中性化速度係数の関係を示す。硬化体空隙率の測定データを資料 24 に示す。エコセメントコンクリートの全空隙率と中性化速度係数の関係は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同一の関係で表すことが可能であり、空隙率が大きいほど中性化速度係数が増加する傾向が認められた。

以上の結果より、エコセメントコンクリートの中性化性状は、普通セメントコンクリートと同様に、コンクリート中の全空隙率と密接な関係が有ることが認められた。

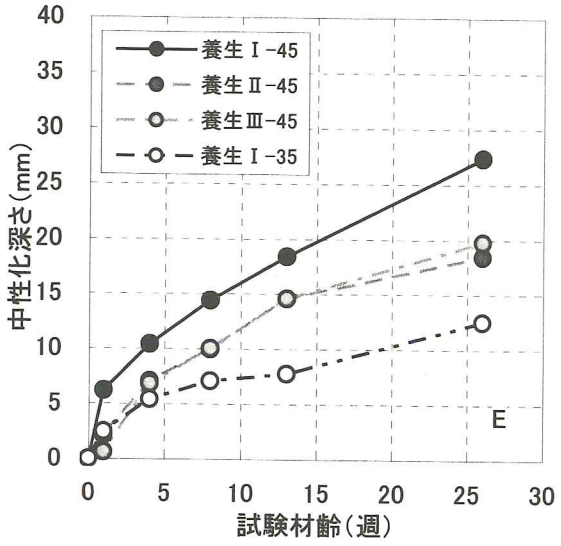


図 4-24　中性化深さに及ぼす養生条件の影響
(使用セメント：E)

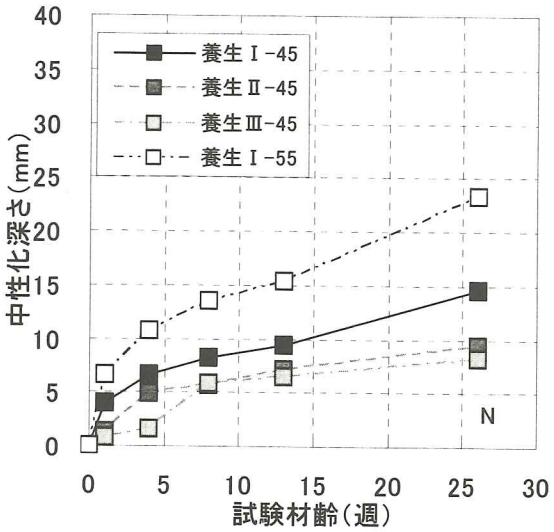


図 4-25　中性化深さに及ぼす養生条件の影響
(使用セメント：N)

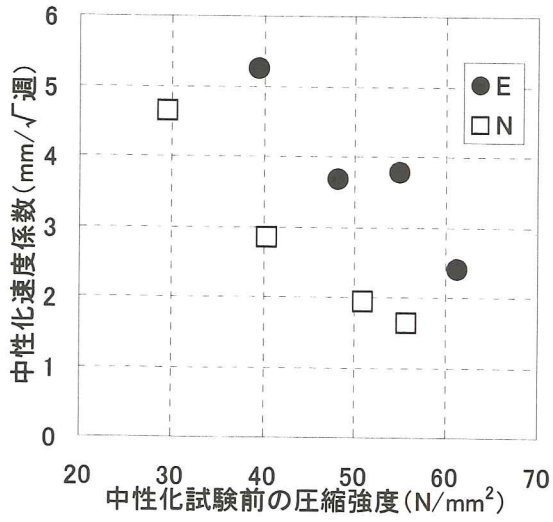


図 4-26　圧縮強度と中性化速度係数の関係

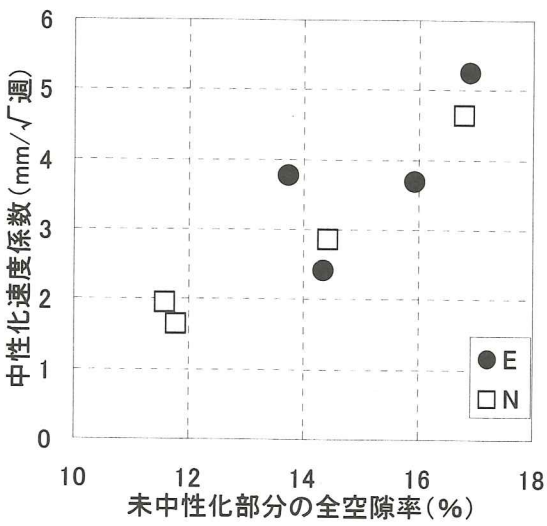


図 4-27　硬化体空隙率と中性化速度係数の関係

4.5.4　蒸気養生後の型枠面の発錆状況観察結果

10×10×40cm の鋼製型枠について、蒸気養生前後の型枠内面の発錆状況を観察した。写真編　写真 1-1～写真 1-8 にエコセメントコンクリートを用いた場合および普通セメントコンクリートの場合の写真をそれぞれ掲載した。いずれのセメントを使用した場合も蒸気養生後の型枠内面の発錆は認められず、普通エコセメントに含まれる塩化物イオンの影響はないことが確認された。

4.5.5 鉄筋の腐食試験結果

表 4-14 に JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法－乾湿繰返し法－」に準拠して行った促進腐食試験結果を示す。表中には鉄筋の配置位置およびかぶり厚さ別に試験結果を示す。また、測定データを資料 25 に掲載した。本試験では試験開始前に鉄筋が発錆していないことを確認するため、E50 および N50 の供試体各 2 体について、鉄筋の発錆量を測定した。その結果、試験開始前においてはいずれの水準でも鉄筋の発錆は認められず、20 サイクル終了後に認められる錆は促進期間中に生じたものであることを確認した。

20 サイクル終了後においてはほぼすべての試験水準で若干の発錆が認められたが、その量はわずかであり、セメントの種類、鉄筋位置およびかぶり厚さの違いによる明確な差は認められなかった。また、同一水準の試験体間でも発錆量に差が生じていたことから、今回の試験において生じた発錆は、主にモルタルが十分に充てんされていない部分に生じたものと考えられる。

表 4-14　鉄筋の促進腐食試験結果（促進試験 20 サイクル）

鉄筋位置条件		発錆面積率（%）			
鉄筋位置	かぶり厚さ	E40	E50	N40	N50
打設面側	1cm	0.00	0.00	0.75	0.00
	2cm	1.25	4.33	0.06	4.53
底面側	1cm	2.83	5.25	3.26	1.08
	2cm	0.00	4.37	1.16	1.00

4.6 暴露による耐久性試験結果

4.6.1 圧縮強度試験結果

茨城県つくば市および新潟県親不知に暴露した供試体の圧縮強度試験結果を図 4-28 および図 4-29 にそれぞれ示す。図中には蒸気養生後材齢 14 日まで気中養生を行った供試体の圧縮強度試験結果も示す。また、資料 26 に個々の試験データを掲載する。同一水セメント比で比較すると、材齢 14 日までは、エコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートの圧縮強度はほぼ同等であったが、エコセメントコンクリートは長期強度の増加が普通セメントコンクリートより小さく、結果としていずれの暴露場所においても、6 ヶ月以降のエコセメントコンクリートの圧縮強度は、同一水セメント比の普通セメントコンクリートの圧縮強度よりも低くなった。

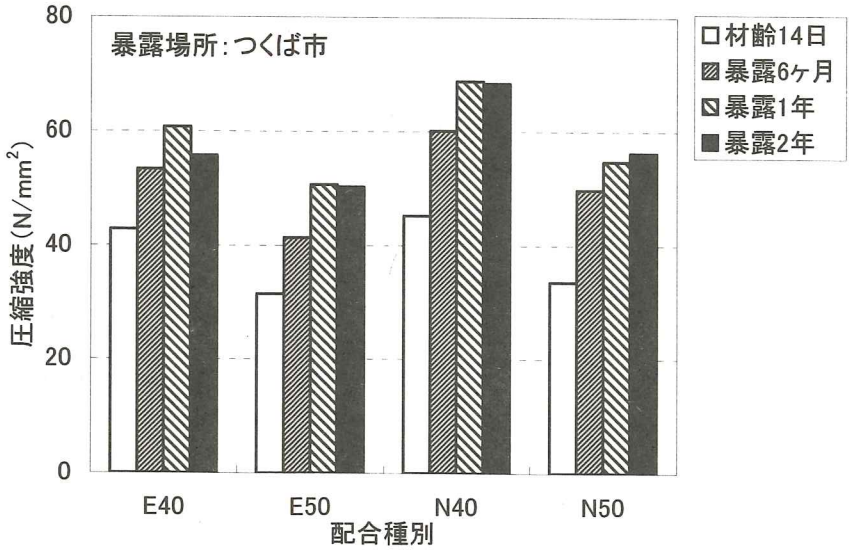


図 4-28　圧縮強度試験結果（暴露場所：つくば市）

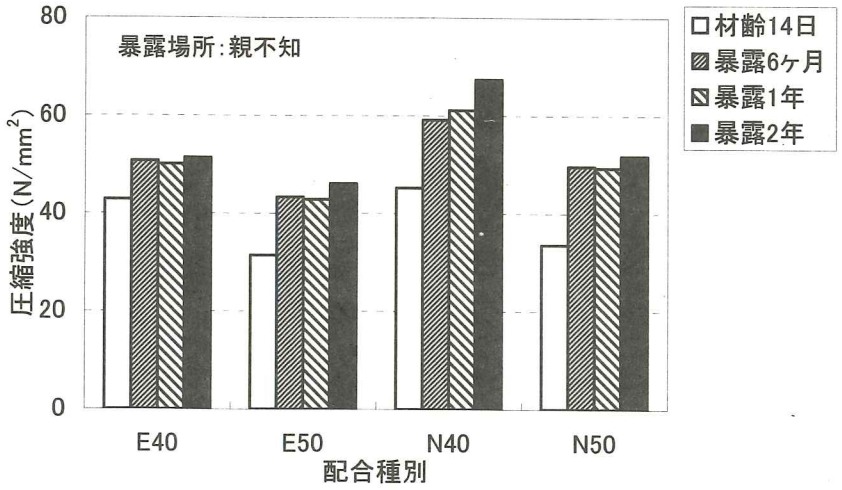


図 4-29　圧縮強度試験結果（暴露場所：親不知）

4.6.2 静弾性係数試験結果

図 4-30 および図 4-31 に茨城県つくば市および新潟県親不知に暴露したコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係をそれぞれ示す。図中には土木学会コンクリート標準示方書［設計編］に示される圧縮強度と静弾性係数の関係も示す。また、資料 26 には個々の測定データを掲載する。エコセメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、いずれの暴露場所においても普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に、コンクリート標準示方書に示される圧縮強度と静弾性係数の関係とほぼ同一の関係で表された。

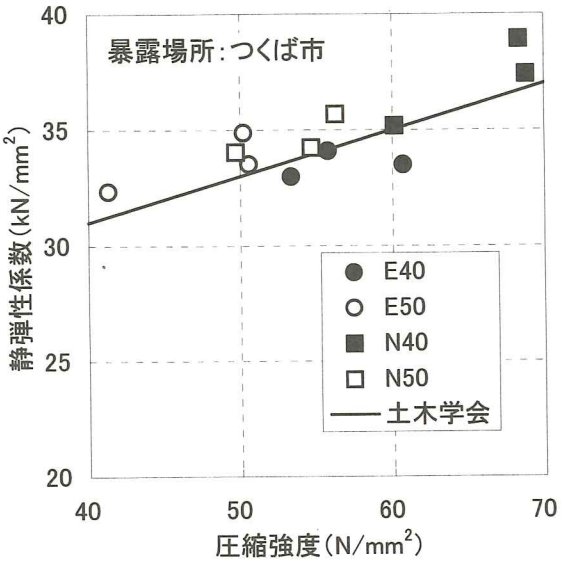


図 4-30　圧縮強度と静弾性係数の関係
（暴露場所：つくば市）

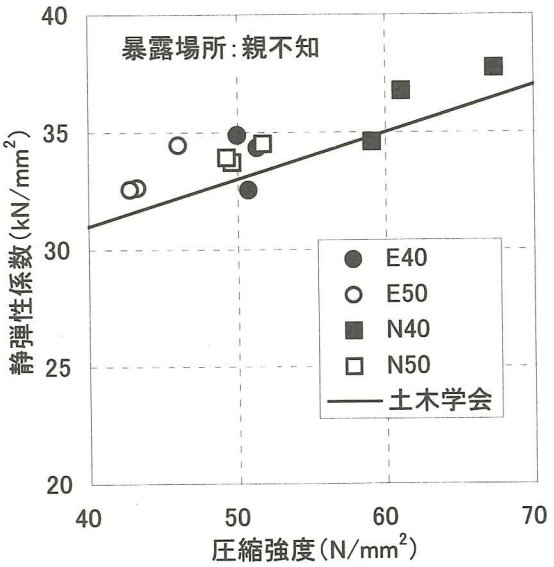


図 4-31　圧縮強度と静弾性係数の関係
（暴露場所：親不知）

4.6.3 中性化試験結果

茨城県つくば市に暴露したコンクリートの中性化深さ測定結果を図 4-32 に示す。また、資料 27 には個々の測定データを掲載する。材齢 2 年におけるエコセメントコンクリートの中性化深さは、1㎜程度とごくわずかであった。同一水セメント比で比較すると、エコセメントコンクリートの中性化深さは、普通ポルトランドセメントよりわずかに大きい傾向が認められた。

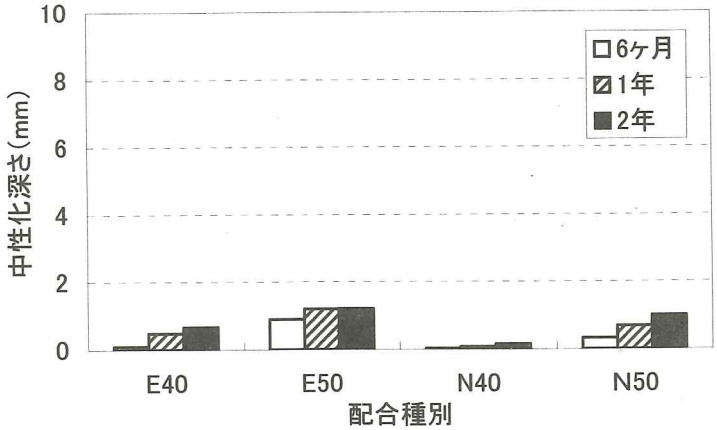


図 4-32　中性化深さ測定結果（暴露場所：つくば市）

4.6.4　相対動弾性係数測定結果

新潟県親不知に暴露したコンクリートの相対動弾性係数測定結果を図 4-33 に示す。また、個々の測定データを資料 28 に掲載した。材齢 2 年経過後ではすべての試験水準において、相対動弾性係数の低下は認められず、コンクリートの劣化は認められなかった。

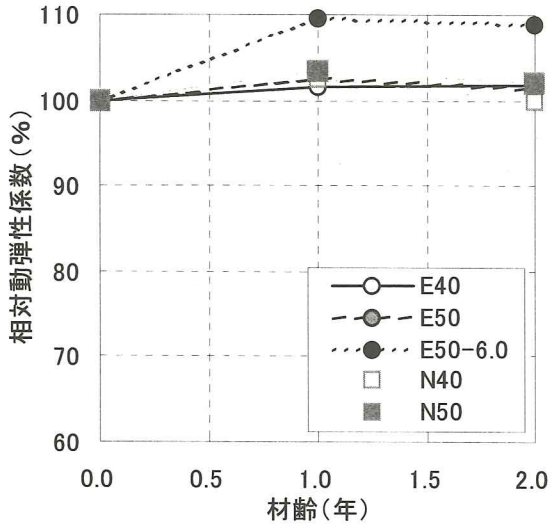


図 4-33　相対動弾性係数測定結果（暴露場所：親不知）

4.6.5　鉄筋の腐食試験結果

表 4-15 に茨城県つくば市および新潟県親不知に暴露した供試体の発錆試験結果を示す。また、測定データを資料 29 に掲載した。材齢 2 年において、いずれの条件においても発錆面積は小さく、セメントの種類、鉄筋位置および暴露場所による影響は認められなかった。普通エコセメントに含まれる塩化物イオン量は約 0.05%で JIS R 5210「ポルトランドセメント」の規格上限値よりも多い。しかし、エコセメントコンクリートの場合においてもコンクリート中の塩化物イオン量が 0.30kg/m^3 以下であれば普通セメントコンクリートの場合と同様に鉄筋の腐食に及ぼす影響はほとんど無いものと考えられる。

表 4-15　鉄筋の発錆試験結果（暴露試験）

試験水準	鉄筋位置	かぶり厚さ	発錆面積率（%）					
			茨城県つくば市			新潟県親不知		
			試験前	1年	2年	試験前	1年	2年
E40	打設面側	1cm	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	底面側	1cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E50	打設面側	1cm	0.00	0.60	0.71	0.00	0.32	3.02
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	底面側	1cm	0.00	0.23	0.12	0.00	0.00	0.08
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
N40	打設面側	1cm	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.48
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	底面側	1cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N50	打設面側	1cm	0.00	1.02	5.01	0.00	0.60	8.72
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	底面側	1cm	0.00	0.00	1.04	0.00	0.03	1.12
		2cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4.6.6　コンクリート硬化体の分析結果

(1) 細孔径分布測定結果

屋外に暴露した供試体より採取した試料を用いて、細孔径分布の測定を行った。材齢2年までの結果を図 4-34～図 4-39 に示す。エコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートともに材齢の経過にともなって細孔直径0.1μm付近の空隙量の減少および0.003～0.007μmの空隙量の増加のいずれかもしくはそれら両者が認められた。また、エコセメントコンクリートは、同一材齢の普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して、細孔直径 0.1μm 付近の空隙量が多く、0.003～0.007μm の範囲の空隙量が少ない傾向が認められ、その傾向は供試体の表面部分（図中 0～1.0cm）よりも中心部分（図中 5.0～7.5cm）において顕著に認められた。一般に直径 0.01μm 以下の空隙は C-S-H の生成にともなって生じるゲル空隙であると説明されている[4-3)]。すなわち、上記結果は、主に普通エコセメントと普通ポルトランドセメントの鉱物組成の違いに起因するもので、カルシウムシリケート系鉱物が普通ポルトランドセメントよりも少ない普通エコセメントを使用したコンクリートの C-S-H 生成量は、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも減少し、その傾向は長期材齢において顕著に現れたものと推察される。また供試体の表面部分と中心部分で認められた差については、これまでの検討結果[4-2)]と同様に、表面部分は中心部分と比較して乾燥の影響を受けやすく、水和の進行が中心部分よりも緩慢になったことが原因の一つとして考えられる。なお、本試験では暴露場所の違いによる細孔径分布の明確な差は認められなかった。

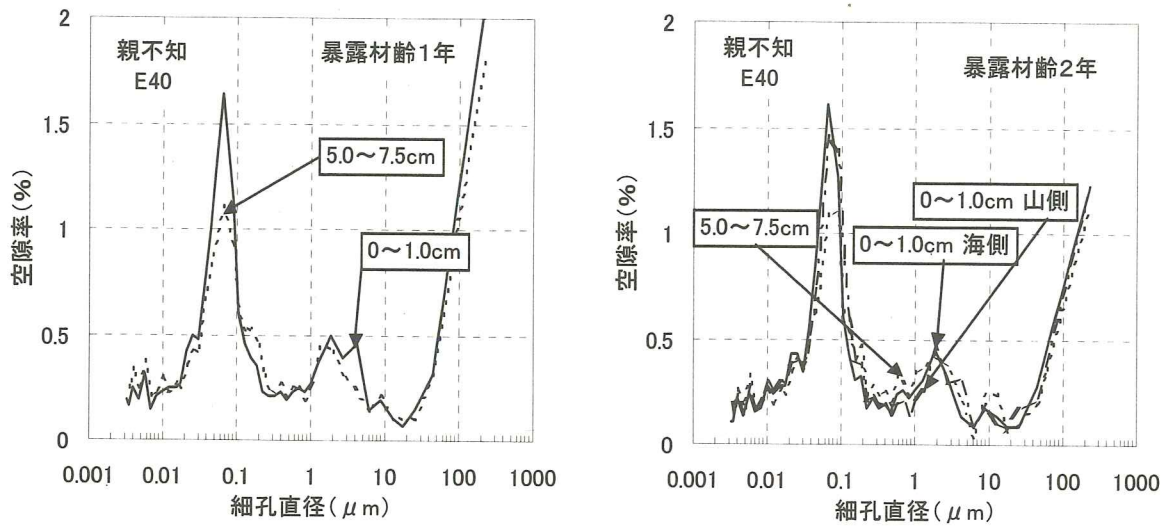


図 4-34　細孔径分布測定結果（親不知：E40）

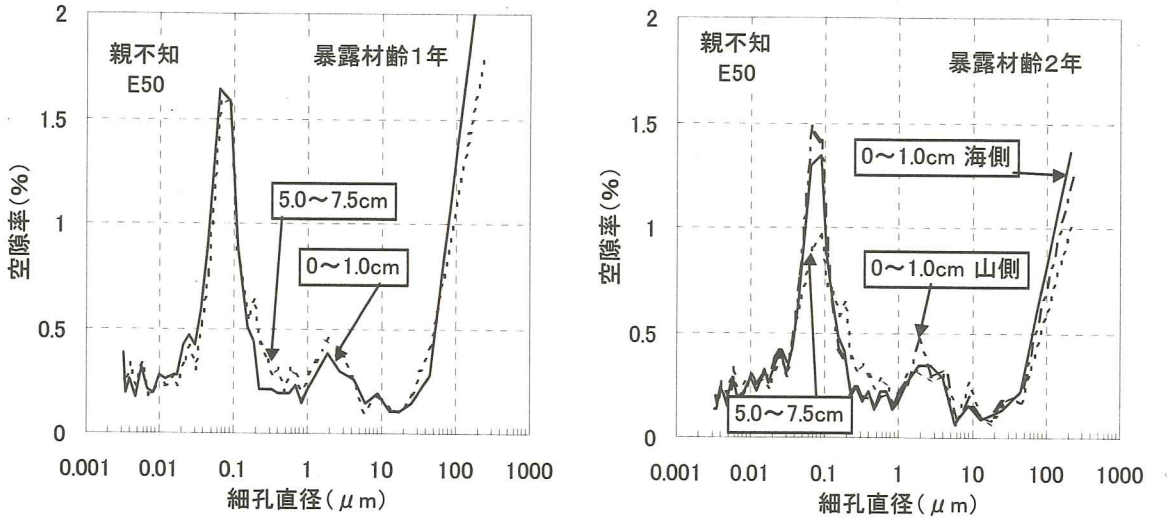


図 4-35　細孔径分布測定結果（親不知：E50）

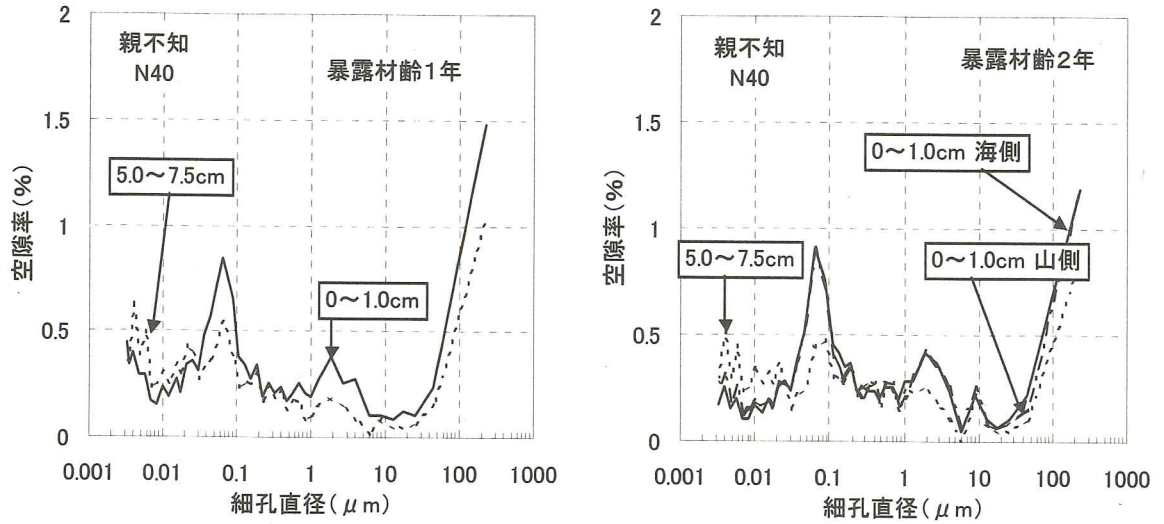


図 4-36　細孔径分布測定結果（親不知：N40）

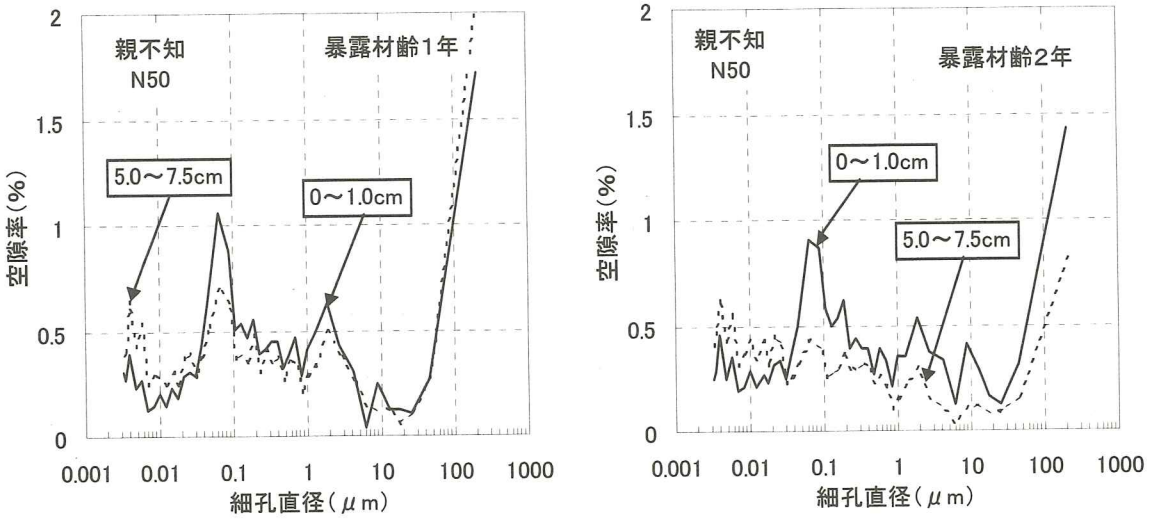


図 4-37　細孔径分布測定結果（親不知：N50）

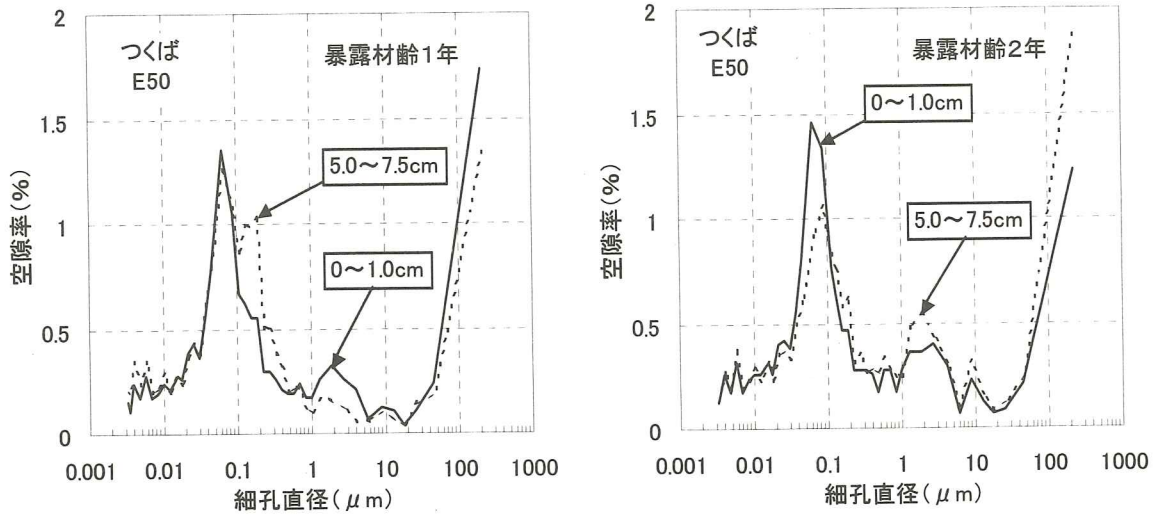


図 4-38　細孔径分布測定結果（つくば：E50）

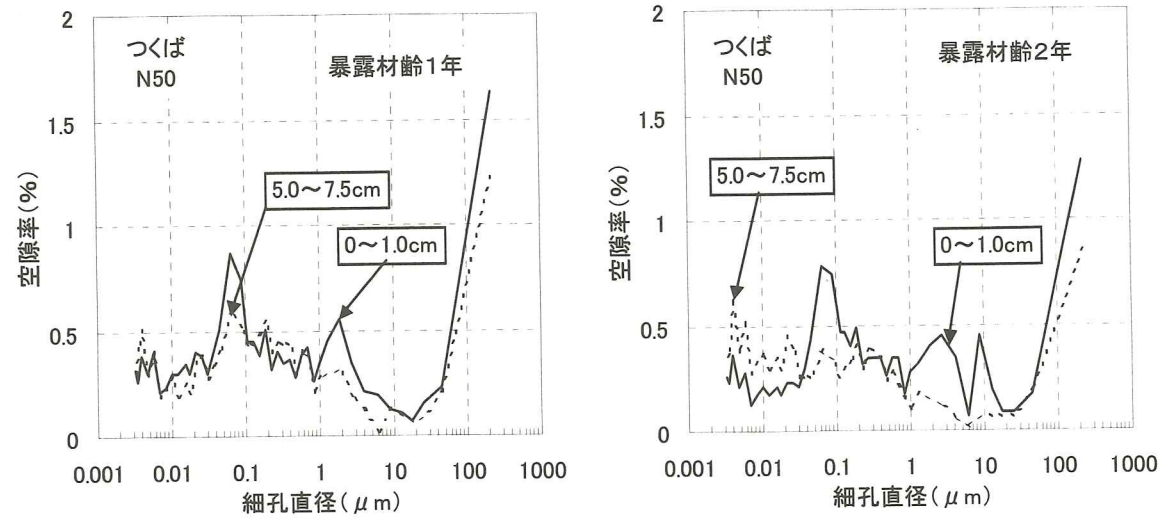


図 4-39　細孔径分布測定結果（つくば：N50）

(2) 塩化物イオン量測定結果

屋外に暴露した供試体を用いて塩化物イオン量の測定を行った。図 4-40～図 4-42 に結果を示す。また塩化物イオン量の測定データを資料 30 に掲載する。エコセメントコンクリート中の塩化物イオン量は、セメントの塩化物イオン含有量に起因して、普通セメントコンクリートよりも若干増加した。また、新潟県親不知に暴露した供試体は、外来の塩化物イオンの影響を受け、供試体表面において塩化物イオン量が増加する傾向が認められた。しかし、供試体中への塩化物イオンの浸透深さは、エコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートとでほぼ同等であり、材齢 2 年における塩化物イオンの浸透深さは水セメント比が 50%の場合で約 2cm、40%の場合で約 1cm であった。一方、茨城県つくば市に暴露した供試体は、供試体表面部分と中心部分とでは塩化物イオン量に差は認められなかった。

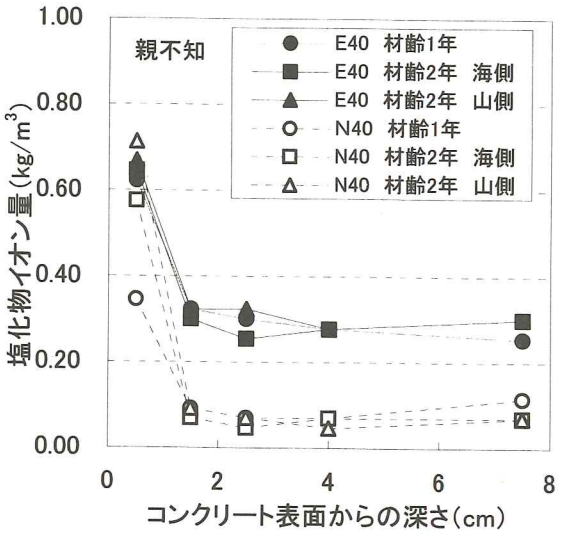


図 4-40 塩化物イオン量測定結果
(親不知, W/C＝40%)

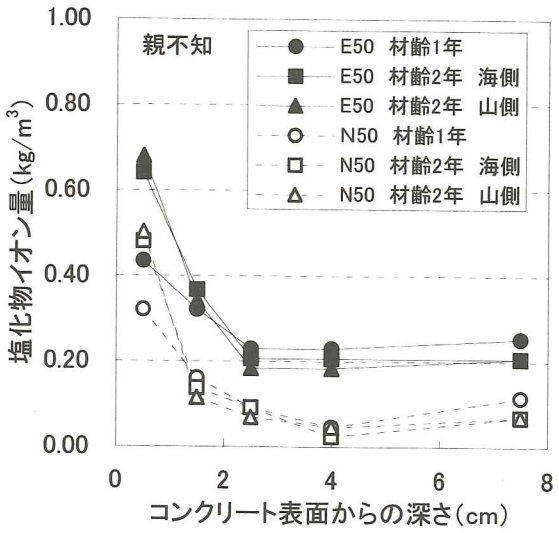


図 4-41 塩化物イオン量測定結果
(親不知, W/C＝50%)

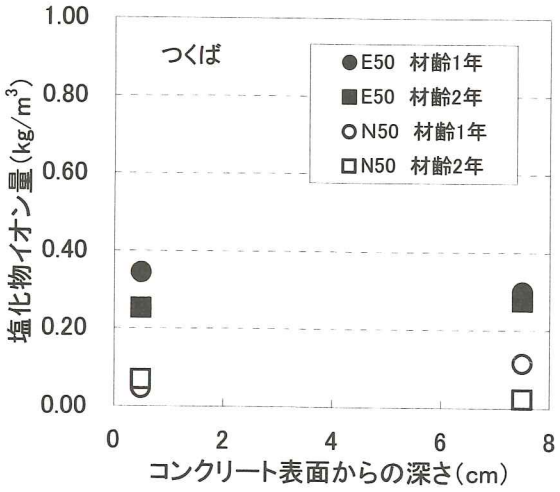


図 4-42 塩化物イオン量測定結果
(つくば, W/C 50%)

(3) EPMA による面分析結果

新潟県親不知に暴露した供試体の化学成分の分布状況を調べることを目的として、EPMA による面分析を行った。写真編　写真 5-1～写真 5-4 に測定結果を示す。材齢 2 年におけるエコセメントコンクリートの塩化物イオンの浸透深さは、前述の電位差滴定法による塩化物イオンの測定結果と同様に 1～2cm 程度であり、普通セメントコンクリートと同等であることが確認できた。また、エコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートともに、供試体表面から 1mm 程度までは塩化物イオンの存在が認められず、供試体表面から深さ方向に 1mm 程度入った部分において存在が確認された。この現象について既往の研究[4-4) 4-5)]では、コンクリート表面が中性化することによって、塩化物イオンおよび SO_3 イオンの移動が行われると報告されている。本試験においても、塩化物イオンの存在が認められた、深さ方向に 1mm 程度入った部分において SO_3 の濃縮が認められていることから、供試体の表面部分が中性化し、塩化物イオンおよび SO_3 の濃縮が生じたものと予想される。なお、本試験においては供試体の向き（海側もしくは山側）の影響およびその他の化学成分の分布状況はいずれも変化が認められなかった。

4.7　4章のまとめ

普通エコセメントのコンクリート製品への適用性を検討するため、フレッシュコンクリートの性状ならびに蒸気養生を行った場合の強度特性および耐久性状について検討を行った結果、以下のことが分かった。

(1) 単位水量を一定とした場合、所定のスランプおよび空気量を得るための高性能AE減水剤量およびAE剤(空気量調整剤)量は、普通エコセメントを用いたコンクリートの方が普通ポルトランドセメントを用いた場合より増加した。スランプロスは、普通エコセメントを用いた場合の方が普通ポルトランドセメントを用いた場合より大きくなる傾向が認められた。また、空気量の経時低下量も同様に、普通エコセメントを用いた場合の方が大きくなる傾向があった。普通エコセメントを用いた場合の空気量の経時変化は、AE剤の種類や使用材料の組合せによる影響が認められた。

(2) 普通エコセメントを用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係は、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様に一次式で表現でき、セメント水比則が成立することが認められた。また、同一の水セメント比で比較した場合、蒸気養生後の弱材齢の圧縮強度は普通エコセメントと普通ポルトランドセメントでほぼ同等であった。

(3) 普通エコセメントを用いたコンクリートの乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントを用いた場合より若干小さくなった。

(4) 普通エコセメントを用いたコンクリートは、十分な空気量が確保される場合、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に十分な凍結融解抵抗性を示した。なお、AEコンクリートとする場合は普通ポルトランドセメントを使用する場合と同様に、事前に試験練りを行い十分な空気量を確保できるように、使用材料および配合の検討、確認を行う必要がある。

(5) 普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化速度は、普通ポルトランドセメントを使用した同一水セメント比、同一圧縮強度のコンクリートより速かった。硬化体全空隙率と中性化速度係数の関係は、普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートでほぼ同等であった。

(6) 蒸気養生前後の型枠内面の発錆状況を観察した結果、普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントのいずれのセメントを使用した場合においても蒸気養生後の型枠内面の発錆は認められず、普通エコセメントに含まれる塩化物イオンの影響はないことが確認された。

(7) 普通エコセメントを使用したコンクリート中に埋め込んだ鉄筋について促進腐食試験(JCI-SC3)および屋外暴露試験を2年間実施した結果、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様にほとんど発錆は認められなかった。

(8) 普通エコセメントを使用したコンクリートを2年間屋外暴露した結果、細孔径分布、塩化物イオン浸透量および化学成分の分布において、普通ポルトランドセメントを使用した場合との明確な差異は認められなかった。

[参考文献]

4-1) 後藤幸正、尾坂芳夫：ネビルのコンクリートの特性、技報堂出版、p359、1982

4-2) セメント協会：エンサイクロペディア[セメント・コンクリート化学の基礎解説]、p47、1996

4-3) 田代忠一：セメント硬化体中の水分、コンクリート工学、Vol.32、No.9、pp.12-15、1994.9

4-4) 小林一輔、白木亮司、宇野祐一、河合研至：塩化物を含んだコンクリートの炭酸化による塩素の濃縮現象（Ⅰ）、生産研究、Vol.40、No.11、pp.33-36、1988.11

4-5) 小林一輔、白木亮司、河合研至、星野富夫：コンクリートの炭酸化による硫酸イオンの移動と濃縮現象（Ⅰ）、生産研究、Vol.41、No.12、pp.940-943、1989.12

5　普通エコセメントおよび普通エコセメント硬化体の微量成分溶出に関する研究

5.1　はじめに

エコセメントは、その製造工程において主原料となる都市ごみ焼却灰に含まれる重金属類等の除去・再資源化を行っているが、なお微量成分として重金属類が残留する。したがって、エコセメントをコンクリート用材料として適用していくためには、原料として用いる都市ごみ焼却灰の組成変動に伴って、微量成分の含有量がどの程度変動するのか、また、コンクリートとして利用するに当たってそれらが普通ポルトランドセメントと異なる挙動を示すことがないか、環境中へ有害量放出されることがないかを確認する必要がある。エコセメントの安全性に関しては、実証プラントで製造されたエコセメントについて、廃棄物学会に設置された委員会において検討が行われ、モルタル硬化体を用いた各種溶出試験の結果によりその安全性が確認されている[5-1)]。ここでは、市原エコセメント工場で生産された普通エコセメントを対象に、微量成分の含有量を調査するとともに、セメント粉末およびそれを用いたモルタルおよびコンクリートからの微量成分の溶出特性について実験的に検討し、環境に対する安全性を確認した。

これら微量成分の溶出特性について文献では、セメント（粉末）の微量成分の溶出試験を環境庁告示第 46 号法により実施した場合に六価クロムの溶出量が環境基準値を上回る場合があることが報告されている。[5-2)]。一方で、既往の研究では六価クロムの溶出量低減には還元剤の添加が効果があるとされており[5-3)]、本研究ではその効果の確認も行った。

5.2　普通エコセメント粉末の微量成分含有量および溶出量に関する試験

5.2.1　実験概要

(1) セメント

セメントには、普通エコセメント(E)および比較として普通ポルトランドセメント(N)を使用した。実験には市原エコセメント工場において平成 13 年 10 月 15 日～同 11 月 26 日までに製造された 10 ロットの普通エコセメントを用いた（表 5-1）。また、それぞれの製造ロットのエコセメントに対して、還元剤として硫酸第一鉄($Fe_2SO_4 \cdot H_2O$)をセメント質量の 1%添加した試料(記号:R1)を実験的に作製し、無添加の場合(記号:R0)との比較検討を行った。表 5-2 に試験に用いたセメントの化学分析結果を示す。

表 5-1　試験に用いたセメント

記号	製造年月日	還元剤	記号	製造年月日	還元剤
1. E 10/15　R0	H13. 10. 15	0%	11. E 11/9　R0	H13. 11. 9	0%
2. E 10/15　R1	H13. 10. 15	1%	12. E 11/9　R1	H13. 11. 9	1%
3. E 10/17　R0	H13. 10. 17	0%	13. E 11/13　R0	H13. 11. 13	0%
4. E 10/17　R1	H13. 10. 17	1%	14. E 11/13　R1	H13. 11. 13	1%
5. E 11/1　R0	H13. 11. 1	0%	15. E 11/21　R0	H13. 11. 21	0%
6. E 11/1　R1	H13. 11. 1	1%	16. E 11/21　R1	H13. 11. 21	1%
7. E 11/3　R0	H13. 11. 3	0%	17. E 11/23　R0	H13. 11. 23	0%
8. E 11/3　R1	H13. 11. 3	1%	18. E 11/23　R1	H13. 11. 23	1%
9. E 11/7　R0	H13. 11. 7	0%	19. E 11/26　R0	H13. 11. 26	0%
10. E 11/7　R1	H13. 11. 7	1%	20. E 11/26　R1	H13. 11. 26	1%
			21. N	H13. 9	0%

表 5-2　普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントの化学分析結果

試料名	化学成分（%）												
	ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cl^-
1. E 10/15 R0	1. 35	17. 37	7. 29	3. 96	61. 10	2. 02	3. 88	0. 40	0. 01	0. 68	1. 07	0. 09	0. 038
2. E 10/15 R1	1. 06	17. 43	7. 34	4. 39	60. 97	2. 01	3. 71	0. 41	0. 01	0. 68	1. 07	0. 10	0. 038
3. E 10/17 R0	1. 27	17. 57	7. 37	4. 07	61. 42	1. 94	3. 58	0. 36	0. 01	0. 66	1. 11	0. 08	0. 040
4. E 10/17 R1	1. 07	17. 61	7. 37	4. 37	61. 27	1. 96	3. 55	0. 37	0. 01	0. 66	1. 11	0. 09	0. 039
5. E 11/1 R0	1. 39	17. 55	7. 35	3. 84	61. 06	2. 01	3. 84	0. 36	0. 01	0. 70	1. 19	0. 09	0. 041
6. E 11/1 R1	1. 12	17. 59	7. 38	4. 16	61. 10	1. 97	3. 82	0. 34	0. 01	0. 69	1. 19	0. 09	0. 042
7. E 11/3 R0	1. 23	17. 52	7. 35	4. 13	61. 41	1. 96	3. 56	0. 39	0. 01	0. 66	1. 06	0. 09	0. 038
8. E 11/3 R1	1. 06	17. 53	7. 28	4. 44	61. 48	1. 99	3. 52	0. 39	0. 01	0. 65	1. 05	0. 09	0. 038
9. E 11/7 R0	1. 37	17. 35	7. 30	4. 02	61. 20	1. 99	3. 91	0. 41	0. 01	0. 68	1. 04	0. 09	0. 038
10. E 11/7 R1	1. 02	17. 45	7. 34	4. 44	61. 18	2. 00	3. 63	0. 42	0. 01	0. 67	1. 05	0. 10	0. 035
11. E 11/9 R0	1. 28	17. 54	7. 35	3. 87	61. 15	2. 03	3. 83	0. 37	0. 01	0. 70	1. 17	0. 09	0. 038
12. E 11/9 R1	1. 17	17. 51	7. 35	4. 17	61. 00	1. 99	3. 82	0. 36	0. 01	0. 70	1. 16	0. 09	0. 042
13. E 11/13 R0	1. 16	17. 52	7. 31	4. 03	61. 35	2. 06	3. 54	0. 41	0. 01	0. 68	1. 08	0. 09	0. 038
14. E 11/13 R1	1. 11	17. 44	7. 27	4. 45	61. 05	2. 04	3. 74	0. 40	0. 01	0. 68	1. 07	0. 10	0. 042
15. E 11/21 R0	1. 21	17. 44	7. 31	3. 88	61. 08	2. 09	3. 90	0. 41	0. 02	0. 71	1. 13	0. 09	0. 039
16. E 11/21 R1	1. 12	17. 42	7. 32	4. 32	60. 83	2. 02	3. 92	0. 39	0. 01	0. 70	1. 11	0. 10	0. 040
17. E 11/23 R0	1. 19	17. 43	7. 31	4. 18	61. 45	1. 98	3. 56	0. 43	0. 01	0. 66	1. 00	0. 09	0. 037
18. E 11/23 R1	0. 96	17. 44	7. 31	4. 59	61. 22	2. 00	3. 53	0. 44	0. 01	0. 66	1. 00	0. 10	0. 038
19. E 11/26 R0	1. 28	17. 50	7. 33	3. 87	61. 16	2. 04	3. 84	0. 38	0. 01	0. 70	1. 15	0. 09	0. 039
20. E 11/26 R1	1. 11	17. 47	7. 34	4. 24	60. 92	2. 00	3. 89	0. 38	0. 01	0. 71	1. 14	0. 10	0. 041
21. N	1. 90	20. 76	5. 28	2. 86	64. 61	1. 33	2. 03	0. 3	0. 38	0. 24	0. 19	0. 08	0. 010

(2) 微量成分の含有量試験および溶出試験方法

本研究においては、セメント中の微量成分の含有量、水への溶出のしやすさおよびその変動を把握することを目的とした。表 5-3 に微量成分の測定項目および測定方法を示す。カドミウム、鉛、全クロム、六価クロム、亜鉛、総水銀、銅の測定は、セメント協会法（JCAS I-51）によった。また、溶出試験の方法として環境庁告示第 46 号法（平成 3 年 8 月 23 日）を適用した。分析項目および方法を表 5-4 に示す。試験に用いた普通エコセメントは、いずれも比表面積が 4000 cm^2/g 程度（90 μm以下の粒子）の粉末である。

表 5-3　含有量試験方法

項　目		測定方法
カドミウム	Cd	JCAS I-52 2000 に準じ分解後、ICP 発光分光分析法
鉛	Pb	JCAS I-52 2000 に準じ分解後、ICP 発光分光分析法
全クロム	T-Cr	JCAS I-52 2000 に準じ分解後、ICP 発光分光分析法
六価クロム	Cr^{6+}	JCAS I-51 1981 3. 4 吸光光度法
砒素	As	硝酸・硫酸分解　水素化物発生原子吸光法
総水銀	T-Hg	JCAS I-51 1981 3. 16 原子吸光（還元気化循環法）
セレン	Se	硝酸・硫酸分解　水素化物発生原子吸光法
ほう素	B	アルカリ溶融・硝酸溶解　I ICP 発光分光分析法
ふっ素	F	JCAS I-51 1981 3. 1　吸光光度法
銅	Cu	JCAS I-52 2000 に準じ分解後、ICP 発光分光分析法
亜鉛	Zn	JCAS I-52 2000 に準じ分解後、ICP 発光分光分析法
シアン	CN	底質調査法Ⅱ. 14（環水管第 127 号）

表 5-4　溶出試験方法

項　目		測　定　方　法	
カドミウム	Cd	JIS K 0102-1998 55.3	ICP 発光分光分析法
鉛	Pb	JIS K 0102-1998 54.3	ICP 発光分光分析法
六価クロム	Cr^{6+}	JIS K 0102-1998 65.2.1	ｼﾞﾌｪﾆﾙｶﾙﾊﾞｼﾞﾄﾞ吸光光度法
砒素	As	JIS K 0102-1998 61.2	水素化物発生原子吸光法
総水銀	T-Hg	JIS K 0102-1998 66.1.1	還元気化原子吸光法
セレン	Se	JIS K 0102-1998 67.2	水素化物発生原子吸光法
ほう素	B	JIS K 0102-1998 47.3	ICP 発光分光分析法
ふっ素	F	JIS K 0102-1998 34.1	ﾗﾝﾀﾝｰｱﾘｻﾞﾘﾝｺﾝﾌﾟﾚｷｿﾝ吸光光度法
銅	Cu	JIS K 0102-1998 52.4	ICP 発光分光分析法
亜鉛	Zn	JIS K 0102-1998 53.3	ICP 発光分光分析法
シアン	CN	JIS K 0102-1998 38.3	4-ﾋﾟﾘｼﾞﾝｶﾙﾎﾞﾝ酸-ﾋﾟﾗｿﾞﾛﾝ吸光光度法

5.2.2　普通エコセメント粉末の微量成分含有量および溶出試験結果

普通エコセメント粉末の微量成分含有量の分析結果を表 5-5 に、普通エコセメント粉末からの微量成分の溶出試験の結果を表 5-6 に示す。また、参考として普通ポルトランドセメントの微量成分含有量および溶出量の文献値を表中にそれぞれ示す[5-4]。

普通エコセメント中の微量成分含有量について、全クロム、銅および亜鉛は普通ポルトランドセメントよりも多く、鉛、六価クロムおよび砒素は普通ポルトランドセメントと同程度であった。また、カドミウム、水銀、セレンおよびシアンはいずれも定量下限値未満であった。カドミウム、鉛、水銀については、大部分がキルン内で揮散しダスト中に移行することが報告されており[5-5]、今回の分析結果もそれを裏付けるものであると考えられる。なお、六価クロムは分析方法の制約上水溶性六価クロムの分析となるため、溶出試験に類似した方法であり、還元剤の作用で違いが認められた。また、試料のサンプリング期間はおよそ 1 ヶ月半ではあるが、含有量の変動は比較的少ないことが分かった。

一方、セメント粉末を用いた溶出試験の結果、検出された元素は鉛、六価クロム、ほう素、亜鉛であり、溶出濃度のロット間の変動もそれほど大きくないことが確認された。本試験において還元剤無添加の普通エコセメントの六価クロム溶出量は、普通ポルトランドセメントよりも多いものの、文献に見られる普通ポルトランドセメントの六価クロム溶出量の変動範囲内にあることが確認された[5-4]。また、還元剤の添加は六価クロムの溶出量低減に効果があることが確認された。

ここでは、普通エコセメントから溶出する可能性のある微量成分を把握するためにセメント粉末の溶出試験を実施した。その結果、六価クロムは他の元素と比較して水に溶出しやすい成分であることが分かった。一般に、セメントは水と練混ぜた際に溶出する六価クロムは水和の進行にともない水和物に固定化されるといわれており[5-3]、普通エコセメントの硬化体からの溶出についてはこれより少ないものと予想される。

表 5-5　普通エコセメントの微量成分含有量（単位：mg/kg）

還元剤	試料名		Cd	Pb	T-Cr	Cr^{6+}	As	T-Hg*	Se	B	F	Cu	Zn	CN
0%	1. E 10/15 R0		<0. 3	55	339	10. 1	19	<5	<0. 5	87	499	1695	3530	<0. 4
	3. E 10/17 R0		<0. 3	65	285	7. 7	24	<5	<0. 5	78	507	1349	3174	<0. 4
	5. E 11/1 R0		<0. 3	59	274	7. 7	23	<5	<0. 5	78	543	1418	3126	<0. 4
	7. E 11/3 R0		<0. 3	54	314	8. 7	23	<5	<0. 5	83	520	1492	3410	<0. 4
	9. E 11/7 R0		<0. 3	53	354	9. 4	14	<5	<0. 5	85	539	1710	3526	<0. 4
	11. E 11/9 R0		<0. 3	57	298	8. 7	21	<5	<0. 5	79	526	1500	3239	<0. 4
	13. E 11/13 R0		<0. 3	54	335	10. 5	14	<5	<0. 5	77	550	1590	3604	<0. 4
	15. E 11/21 R0		<0. 3	56	328	8. 7	15	<5	<0. 5	92	511	1707	3513	<0. 4
	17. E 11/23 R0		<0. 3	56	351	9. 2	15	<5	<0. 5	97	507	1623	3618	<0. 4
	19. E 11/26 R0		<0. 3	56	318	9. 6	19	<5	<0. 5	90	538	1587	3386	<0. 4
	平均値		—	57	320	9. 0	19	—	—	85	524	1567	3413	—
	標準偏差		—	3. 4	27. 1	0. 92	4. 0	—	—	6. 9	17. 8	124. 9	178. 1	—
1%	2. E 10/15 R1		<0. 3	69	351	2. 1	14	<5	<0. 5	88	529	1683	3569	<0. 4
	4. E 10/17 R1		<0. 3	66	288	2. 9	24	<5	<0. 5	77	492	1311	3184	<0. 4
	6. E 11/1 R1		<0. 3	65	286	4. 6	23	<5	<0. 5	78	541	1445	3121	<0. 4
	8. E 11/3 R1		<0. 3	62	323	1. 6	21	<5	<0. 5	82	507	1426	3403	<0. 4
	10. E 11/7 R1		<0. 3	63	357	2. 8	16	<5	<0. 5	83	540	1634	3597	<0. 4
	12. E 11/9 R1		<0. 3	62	300	1. 8	21	<5	<0. 5	75	562	1546	3263	<0. 4
	14. E 11/13 R1		<0. 3	60	345	1. 8	14	<5	<0. 5	90	553	1643	3559	<0. 4
	16. E 11/21 R1		<0. 3	56	338	4. 9	14	<5	<0. 5	93	525	1735	3522	<0. 4
	18. E 11/23 R1		<0. 3	62	351	1. 2	16	<5	<0. 5	90	517	1561	3611	<0. 4
	20. E 11/26 R1		<0. 3	59	316	3. 9	20	<5	<0. 5	86	540	1638	3387	<0. 4
	平均値		—	62	326	2. 8	18	—	—	84	531	1562	3422	—
	標準偏差		—	3. 7	27. 0	1. 31	3. 9	—	—	6. 2	21. 2	132. 3	179. 8	—
21. N			1. 5	91	65	6	12	1. 1	0. 8	48	358	233	536	<0. 4
普通セメント**		平均	2. 3	42	70	8. 1	9	5. 1	0. 8***	44	315	136	323	—
		範囲	1. 6 -3. 3	16-66	53-114	3. 0 -14. 4	3-22	6-24. 5	<0. 8 -1. 1	32-64	97-532	41-227	179 -552	—

＊：T-Hg の単位はμg/l　　＊＊：文献値 5-4)　　＊＊＊：定量下限値未満（<0. 8）を 0. 8 として算出した値
<：定量下限値未満

表 5-6　普通エコセメント粉末からの微量成分の溶出量（環告 46 号法、単位：mg/l）

還元剤	試料名	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T-Hg*	Se	B	F	Cu	Zn
0%	1 E 10/15 R0	<0. 01	0. 01	0. 87	<0. 005	<0. 5	<0. 002	0. 03	<0. 4	<0. 01	0. 02
	3 E 10/17 R0	<0. 01	0. 01	0. 66	<0. 005	<0. 5	<0. 002	0. 02	<0. 4	<0. 01	0. 02
	5 E 11/1 R0	<0. 01	0. 02	0. 66	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 02
	7 E 11/3 R0	<0. 01	0. 02	0. 74	<0. 005	<0. 5	<0. 002	0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 02
	9 E 11/7 R0	<0. 01	0. 02	0. 89	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 02
	11 E 11/9 R0	<0. 01	0. 01	0. 73	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	13 E 11/13 R0	<0. 01	0. 01	0. 86	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	15 E 11/21 R0	<0. 01	0. 01	0. 90	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	17 E 11/23 R0	<0. 01	0. 01	0. 86	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	19 E 11/26 R0	<0. 01	0. 02	0. 54	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 02
1%	2 E 10/15 R1	<0. 01	0. 01	0. 20	<0. 005	<0. 5	<0. 002	0. 02	<0. 4	<0. 01	0. 02
	4 E 10/17 R1	<0. 01	0. 01	0. 16	<0. 005	<0. 5	<0. 002	0. 02	<0. 4	<0. 01	0. 02
	6 E 11/1 R1	<0. 01	0. 01	0. 17	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	8 E 11/3 R1	<0. 01	0. 01	0. 18	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	10 E 11/7 R1	<0. 01	0. 01	0. 21	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	12 E 11/9 R1	<0. 01	0. 01	0. 17	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	14 E 11/13 R1	<0. 01	0. 01	0. 19	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	16 E 11/21 R1	<0. 01	0. 01	0. 18	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 01
	18 E 11/23 R1	<0. 01	0. 02	0. 80	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	0. 02
	20 E 11/26 R1	<0. 01	0. 02	0. 20	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	<0. 01	<0. 01
0%	21 N	<0. 01	0. 03	0. 21	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 01	<0. 4	0. 01	0. 02
普通セメント**		<0. 0001	0. 003 - 0. 013	0. 437 - 1. 076	<0. 002	<0. 32	0. 008 - 0. 017	<0. 020	<0. 10 - 0. 20	0. 045 - 0. 053	<0. 004 - 0. 014

＊：T-Hg の単位はμg/l　　＊＊：文献値 5-4)　　<：定量下限値未満

5.3 普通エコセメントを用いたモルタル硬化体の溶出試験

5.3.1 実験概要

(1) セメント

試験に用いたセメントは表 5-1 と同一であり、普通エコセメント (E) を 20 試料、比較として普通ポルトランドセメント (N) を用いた。

(2) 供試体作製方法

JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に従いモルタルを作製した。すなわち、モルタルの配合は、質量比で、セメント：標準砂：水＝1：3：0.5 とした。供試体は 40×40×160 mmの直方体とし、試験材齢まで標準養生を行った。

(3) 溶出試験方法

硬化コンクリート（モルタル）からの微量成分の溶出については、コンクリート構造物の供用状態等を考慮した試験方法が整備されておらず、適切な試験方法の早急な整備が望まれている。現在は硬化コンクリート（モルタル）からの微量成分の溶出試験は環境庁告示第 46 号法（平成 3 年 8 月 23 日）を準用して行われていることが多い。本試験においては普通エコセメントを使用したコンクリート中の微量成分の水への溶出のしやすさ、還元剤添加の有無の影響およびセメント製造ロットの違いによる変動を調べることを主な目的としていることから、環境庁告示第 46 号法（平成 3 年 8 月 23 日）を準用した。よって、試料（モルタル）として粒径 2 mm以下に粉砕したものを使用した。なお、測定元素はカドミウム (Cd)、鉛 (Pb)、六価クロム (Cr^{6+})、砒素 (As)、総水銀 (T-Hg)、セレン (Se)、ほう素 (B)、ふっ素 (F)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn) およびシアン (CN) とした。

5.3.2 普通エコセメントを用いたモルタルの溶出試験結果

モルタル硬化体における微量成分の溶出試験の結果を表 5-7 (材齢 7 日) および表 5-8 (材齢 28 日) に示す。表中には参考として土壌環境基準を示す。ただし、銅および亜鉛については、水道水質基準を示す。

前節の結果より比較的溶出しやすい元素と考えられた六価クロムについて見ると、モルタル硬化体での溶出濃度はセメント粉末のときの 1/20～1/30 程度に大きく低下した。また、還元剤の効果は僅かに認められる程度であった。参考として普通エコセメントの六価クロム溶出量を土壌環境基準値と比較すると、還元剤添加の有無および測定材齢に関らず測定結果はいずれも基準値以下の濃度であった。

その他の元素については、鉛、砒素、セレン、ほう素、亜鉛が一部で検出されたがほとんど定量下限値付近であり問題のないレベルであった。

表 5-7　モルタルの溶出試験結果（環告 46 号法、材齢 7 日、単位：mg/l）

還元剤	セメント	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T-Hg*	Se	B	F	Cu	Zn	CN
0%	1 E 10/15 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	3 E 10/17 R0	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	5 E 11/1 R0	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	—	<0.04
	7 E 11/3 R0	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	9 E 11/7 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	11 E 11/9 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	13 E 11/13 R0	<0.01	0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	15 E 11/21 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	17 E 11/23 R0	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	19 E 11/26 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
1%	2 E 10/15 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	4 E 10/17 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	6 E 11/1 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	8 E 11/3 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	<0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	10 E 11/7 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	12 E 11/9 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	14 E 11/13 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	16 E 11/21 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	18 E 11/23 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	20 E 11/26 R1	<0.01	<0.01	0.01	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
0%	21 N	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	0.006	<0.04
土壌環境基準		0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.01	1.0	0.8	1.0**	1.0**	N.D.
定量下限値		0.01	0.01	0.01	0.005	0.5	0.002	0.01	0.4	0.01	0.005	0.04

* T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

表 5-8　モルタルの溶出試験結果（環告 46 号法、材齢 28 日、単位：mg/l）

還元剤	セメント	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T-Hg*	Se	B	F	Cu	Zn	CN
0%	1 E 10/15 R0	<0.01	<0.01	0.04	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	3 E 10/17 R0	<0.01	<0.01	0.04	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	5 E 11/1 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	7 E 11/3 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	9 E 11/7 R0	<0.01	<0.01	0.03	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	11 E 11/9 R0	<0.01	<0.01	0.04	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	13 E 11/13 R0	<0.01	<0.01	0.04	0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	15 E 11/21 R0	<0.01	<0.01	0.04	0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	17 E 11/23 R0	<0.01	<0.01	0.04	0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	19 E 11/26 R0	<0.01	<0.01	0.04	0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.04	<0.04
1%	2 E 10/15 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	4 E 10/17 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	<0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	6 E 11/1 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	—	<0.04
	8 E 11/3 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	10 E 11/7 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	12 E 11/9 R1	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	14 E 11/13 R1	<0.01	<0.01	0.02	0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.03	<0.04
	16 E 11/21 R1	<0.01	<0.01	0.03	0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	18 E 11/23 R1	<0.01	<0.01	0.02	0.005	<0.5	0.002	0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
	20 E 11/26 R1	<0.01	<0.01	0.03	0.005	<0.5	0.002	0.02	<0.4	<0.01	0.03	<0.04
0%	21 N	<0.01	<0.01	0.02	<0.005	<0.5	<0.002	<0.01	<0.4	<0.01	0.02	<0.04
土壌環境基準		0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.01	1	0.8	1.0**	1.0**	N.D.
定量下限値		0.01	0.01	0.01	0.005	0.5	0.002	0.01	0.4	0.01	0.005	0.04

* T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

5.4 普通エコセメントを用いたコンクリート硬化体の溶出試験

5.4.1 実験概要

(1) セメント試料

普通エコセメント(E)には、表 5-1 に示す E11/1-R0、E11/1-R1、E11/23-R0 および E11/23-R1 の 4 試料を用いた。比較として普通ポルトランドセメント (N) を用いた。

(2) コンクリート配合および供試体作製方法

コンクリートの配合を表 5-9 に示す。供試体は JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に従い、φ10×20 cmの供試体を作製した。養生方法は封かん養生(型枠ごとビニールで密封)を基本とし、試験材齢は 28 日および 91 日としたが、材齢 28 日まで水中養生を行った場合についても試験を実施した。

表 5-9 コンクリート配合

使用ｾﾒﾝﾄ	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)			
			水	ｾﾒﾝﾄ	細骨材	粗骨材
E	45	42	158	351	750	1057
	55	44		287	808	1050
	65	46		243	862	1033
N	55	46	156	284	848	1016

(3) 溶出試験方法

前節と同様の目的から、環境庁告示第 46 号法 (平成 3 年 8 月 23 日) を準用し、試料 (コンクリート) には粒径 2 ㎜以下に粉砕したものを使用した。測定元素は、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ほう素、ふっ素、銅および亜鉛とした。

5.4.2 普通エコセメントを用いたコンクリートの溶出試験結果

コンクリート硬化体による溶出試験の結果を表 5-10～表 5-12 に示す。表中には参考として土壌環境基準を示す。ただし、銅および亜鉛は水道水質基準を示す。

普通エコセメントを用いたコンクリート硬化体の微量成分溶出量について、参考までに土壌環境基準値と比較すると、水セメント比、養生方法および材齢によらず、いずれの測定元素についても基準値以下の値を示すことが確認された。六価クロムについては還元剤添加の有無に関らず各材齢においてほぼ同等の値を示しており、還元剤の六価クロム溶出低減効果は明確に現れなかった。

本試験は土壌を対象としたもので、通常コンクリートが利用される状況と違い、試料を 2㎜ 以下に粉砕する厳しい評価ではあるが、硬化後のコンクリートにおいても六価クロムは他の元素と比較して移動しやすい元素であることを示していると考えられる。その他の元素では、ほう素、ふっ素、銅および亜鉛が一部で検出されたが、問題となるレベルではない。

表 5-10　コンクリートの溶出試験結果（環告 46 号法、標準養生：材齢 28 日、単位：mg/l）

還元剤	セメント	W/C (%)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu	Zn
0%	5 E 11/1 R0	45	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.2	0.004	0.012
		55	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.014
		65	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.008	0.012
	17 E 11/23 R0	45	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.2	0.005	0.015
		55	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.2	0.004	0.013
		65	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.004	0.016
1%	6 E 11/1 R1	45	<0.001	<0.01	<0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.004	0.012
		55	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.2	0.003	0.013
		65	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.010	0.014
	18 E 11/23 R1	45	<0.001	<0.01	<0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.004	0.013
		55	<0.001	<0.01	<0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.014
		65	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.004	0.013
—	N	55	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.002	0.007
土壌環境基準			0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.01	1.0	0.80	1.0**	1.0**
定量下限値			0.001	0.01	0.02	0.001	0.5	0.002	0.02	0.1	0.001	0.001

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

表 5-11　コンクリートの溶出試験結果（環告 46 号法、封かん養生：材齢 28 日、単位：mg/l）

還元剤	セメント	W/C (%)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu	Zn
0%	5 E 11/1 R0	45	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.004	0.019
		55	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.019
		65	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.019
	17 E 11/23 R0	45	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.020
		55	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.020
		65	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.054
1%	6 E 11/1 R1	45	<0.001	<0.01	<0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.016
		55	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.016
		65	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.002	0.013
	18 E 11/23 R1	45	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.018
		55	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	0.02	0.1	0.003	0.016
		65	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.018
—	N	55	<0.001	<0.01	0.02	<0.001	<0.5	<0.002	0.02	<0.1	<0.001	0.009
土壌環境基準			0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.01	1.0	0.80	1.0**	1.0**
定量下限値			0.001	0.01	0.02	0.001	0.5	0.002	0.02	0.1	0.001	0.001

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

表 5-12　コンクリートの溶出試験結果（環告 46 号法、封かん養生：材齢 91 日、単位：mg/l）

還元剤	セメント	W/C (%)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu	Zn
0%	5 E 11/1 R0	45	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.015
		55	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.016
		65	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.015
	17 E 11/23 R0	45	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.2	0.004	0.043
		55	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.004	0.017
		65	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.004	0.019
1%	6 E 11/1 R1	45	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.015
		55	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.015
		65	<0.001	<0.01	0.04	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.016
	18 E 11/23 R1	45	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.003	0.015
		55	<0.001	<0.01	0.05	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	<0.1	0.005	0.018
		65	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.003	0.016
—	N	55	<0.001	<0.01	0.03	<0.001	<0.5	<0.002	<0.02	0.1	0.002	0.008
土壌環境基準			0.01	0.01	0.05	0.01	0.5	0.01	1.0	0.80	1.0**	1.0**
定量下限値			0.001	0.01	0.02	0.001	0.5	0.002	0.02	0.1	0.001	0.001

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

5.5 長期材齢における普通エコセメントを用いたコンクリートの溶出試験

5.5.1 実験概要

(1) 使用材料

使用したセメントは、表 3-3 および表 3-4 に示す平成 11 年度のものであり、エコセメントには還元剤を 1%添加している。

(2) 供試体作製および養生方法

コンクリートの配合は、表 3-6（標準養生）および表 4-7（蒸気養生）と同様である。供試体寸法はφ10×20 cmとし、以下に示す養生を行い所定の材齢にて溶出試験を行った。

① 標準養生

材齢 28 日および 1 年 9 ヶ月まで、20℃水中にて養生した。

② 屋外暴露

前養生として標準養生(材齢 28 日)および蒸気養生(蒸気養生後、恒温恒湿室（20℃、60%RH）にて材齢 28 日まで気中養生)を行った後、新潟県親不知および茨城県つくば市に暴露し、1 年および 2 年後に試験体を回収し溶出試験を実施した。

(3) 溶出試験方法

溶出試験は、前節と同様の目的から環境庁告示第 46 号（平成 3 年 8 月 23 日）を準用し、試料（コンクリート）には粒径 2 mm以下に粉砕したものを使用した。測定元素は、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ほう素、ふっ素および銅とした。

5.5.2 長期材齢における溶出試験結果

(1) 標準養生の場合

標準養生を行ったコンクリートの溶出試験結果を表 5-13 に示す。材齢 28 日においては、鉛および六価クロムが一部で検出されたが、定量下限値に近く問題となるレベルではなかった。その他の元素については定量下限値未満であった。材齢 1 年 9 ヶ月においては、いずれの測定元素についても定量下限値未満であった。

(2) 屋外暴露の場合

屋外暴露を行ったコンクリートの溶出試験結果を表 5-14（標準養生）および表 5-15（蒸気養生）に示す。暴露開始時の標準養生 28 日後および蒸気養生 14 日後においては、鉛および六価クロムが一部検出されたが、定量下限値に近く問題となるレベルではなかった。暴露 1 年後についてもこの傾向は変わらず、鉛および六価クロムがわずかに検出された以外は定量下限値未満であった。暴露 2 年後では、鉛および六価クロムがわすかに検出されたことは 1 年後と同様であった。この他に前節で一部検出されたふっ素が、暴露 1 年後には検出されなかったものの 2 年後に検出されたが、問題となるレベルではなかった。

表 5-13　コンクリートの溶出試験結果（環告 46 号法、標準養生、単位：mg/l）

材齢	ｾﾒﾝﾄ種別	ｽﾗﾝﾌﾟ(cm)	W/C (%)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu
28 日	E	8	45	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			65	<0. 001	0. 002	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		18	45	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			65	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
	N	8	45	<0. 001	0. 003	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	0. 003	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			65	<0. 001	0. 003	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		18	45	<0. 001	0. 003	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	<0. 001	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			65	<0. 001	0. 004	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
1 年 9 ヶ月	E	8	45	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	<0. 01
			55	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	<0. 01
			65	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	<0. 01
		18	45	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	－
			55	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	－
			65	<0. 01	<0. 01	<0. 02	<0. 005	<0. 5	<0. 002	<0. 05	<0. 4	－
土壌環境基準				0. 01	0. 01	0. 05	0. 01	0. 5	0. 01	1. 0	0. 80	1. 0**

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

表 5-14　屋外暴露における標準養生コンクリートの溶出試験結果（環告 46 号法、単位：mg/l）

材齢	暴露場所	ｾﾒﾝﾄ種別	W/C (%)	ｽﾗﾝﾌﾟ(cm)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu
28 日暴露開始時	－	E	55	8	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		N	55	8	<0. 001	0. 003	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		E	55	8	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		N	55	8	<0. 001	<0. 001	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
1 年	つくば	E	55	8	<0. 001	<0. 001	0. 016	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
		N	55	8	<0. 001	0. 003	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
	親不知	E	55	8	<0. 001	<0. 001	0. 018	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
		N	55	8	<0. 001	0. 003	0. 014	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
2 年	つくば	E	55	8	<0. 001	<0. 001	0. 008	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 20	<0. 05
		N	55	8	<0. 001	0. 001	0. 009	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 18	<0. 05
	親不知	E	55	8	<0. 001	<0. 001	0. 008	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 18	<0. 05
		N	55	8	<0. 001	0. 002	0. 009	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 18	<0. 05
土壌環境基準					0. 01	0. 01	0. 05	0. 01	0. 5	0. 01	1. 0	0. 80	1. 0**

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

表 5-15　屋外暴露における蒸気養生コンクリートの試験結果（環告 46 号法、単位：mg/l）

材齢	暴露場所	ｾﾒﾝﾄ種別	W/C (%)	Cd	Pb	Cr^{6+}	As	T. Hg*	Se	B	F	Cu
14 日暴露開始時	－	E	35	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			40	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			45	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			50	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	<0. 001	<0. 005	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
		N	35	<0. 001	<0. 001	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			40	<0. 001	<0. 001	0. 013	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			45	<0. 001	<0. 001	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			50	<0. 001	<0. 001	0. 012	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
			55	<0. 001	<0. 001	0. 011	<0. 001	<0. 5	<0. 001	－	－	－
1 年	つくば	E	40	<0. 001	<0. 001	0. 015	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 017	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
		N	40	<0. 001	<0. 001	0. 018	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 016	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
	親不知	E	40	<0. 001	<0. 001	0. 007	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 010	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
		N	40	<0. 001	0. 003	0. 015	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
			50	<0. 001	0. 003	0. 023	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	<0. 08	<0. 05
2 年	つくば	E	40	<0. 001	<0. 001	0. 006	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 14	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 009	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 11	<0. 05
		N	40	<0. 001	<0. 001	0. 014	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 11	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 015	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 29	<0. 05
	親不知	E	40	<0. 001	<0. 001	0. 006	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 14	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 007	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 21	<0. 05
		N	40	<0. 001	<0. 001	0. 011	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 15	<0. 05
			50	<0. 001	<0. 001	0. 014	<0. 001	<0. 5	<0. 001	<0. 1	0. 16	<0. 05
土壌環境基準				0. 01	0. 01	0. 05	0. 01	0. 5	0. 01	1. 0	0. 80	1. 0**

＊ T-Hg（単位：μg/l）、＊＊：水道水基準値、＜：定量下限値未満

5.6 アベイラビリティ試験およびタンクリーチング試験による溶出特性の評価

アベイラビリティ試験とは、オランダの公定法であるNEN 7341に定められており、建設材料や廃棄物が過酷な溶出条件下（硬化体が何らかの要因によって細かく粉砕された状態になり、かつ酸性の溶媒に長期間さらされる）で、最終的に溶出する可能性がある最大溶出量を求めるものである。NEN 7345「タンクリーチング試験」とあわせて、拡散に支配された長期的な溶出量を推定するために用いられる[5-6]。ここでは、実際の工場で製造された普通エコセメントを用いて、アベイラビリティ試験およびタンクリーチング試験を行い微量成分の長期的な溶出特性を評価した。

5.6.1 アベイラビリティ試験

(1) 使用材料

使用したセメントは5.4と同様で、表5-1に示すE11/1-R1、E11/1-R0、E11/23-R1、E11/23-R0および普通ポルトランドセメント（N）を用いた。

(2) 供試体作製および養生方法

コンクリートの配合は、表5-9に示す水セメント比55%の配合を使用した。供試体はφ10×20 cmの円柱を用いた。養生方法は封緘養生とし、養生期間は28日とした。

(3) 試験方法

コンクリート硬化体を125μm以下に粉砕し105℃で乾燥させたものを試料とした。1Lのガラスビーカーに試料16gと蒸留水800gを入れ、自動滴定スタット装置を用いて、pHを7に維持するように1mol/Lの硝酸溶液を添加し続け、3時間スターラにて攪拌を行った。その後、0.45μmのメンブレンフィルタを用いて吸引ろ過を行った。次に、このろ過した残さと蒸留水800gを1Lのビーカーに入れ、pHを4に維持するように1mol/Lの硝酸溶液を添加し続け、3時間スターラにて攪拌を行った。pH7のろ液とpH4のろ液を等量混合し、検液とした。測定元素は、カドミウム、鉛、六価クロム、全クロム、砒素、総水銀、セレン、ほう素、ふっ素、銅および亜鉛とした。

(4) 試験結果

表5-16にアベイラビリティ試験結果を示す。アベイラビリティの数値は乾燥試料1kg当たりの対象元素の溶出量（mg）を示している。コンクリート配合において、セメントと骨材の合計質量に占めるセメントの割合は、エコセメントで13.4%、普通ポルトランドセメントで13.2%である。表5-16に示す残さ率が84.6%から88.1%であることから、セメント分がほぼ全て溶解したと考えられる。セメント中の含有量分析結果（表5-5）において検出された元素を対象に、試料中に含まれるセメント中の元素含有量を計算した結果とアベイラビリティの比較を表5-17に示す。なお、乾燥試料中のセメントの質量割合を先述の13.4%、13.2%と仮定した。ほう素およびふっ素については、セメント中の含有量から計算される量のほとんどがアベイラビリティ試験により検出されているが、他の元素については必ずしも全てが検出されていないことが分かる。

表 5-16　アベイラビリティ試験結果

試料名			5. E11/1 R0	6. E11/1 R1	17. E11/23 R0	18. E11/23 R1	21. N
セメント種類			E	E	E	E	N
還元剤			無し	1%	無し	1%	−
試料量（g）			16.0018	16.0001	16.0013	16.0011	15.9995
1mol/l 硝酸使用量(ml)		pH7	33.435	32.535	35.510	32.445	36.330
		pH4	9.310	8.835	8.550	8.575	9.405
最終残さ量(g)			13.5447	14.0997	13.9449	13.6523	13.8815
残さ率(%)			84.6	88.1	87.1	85.3	86.8
アベイラビリティ	Cd	(mg/kg)	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
	Pb	(mg/kg)	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
	Cr^{6+}	(mg/kg)	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
	T-Cr	(mg/kg)	13.3	8.5	11.3	9.1	3.9
	As	(mg/kg)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.31
	T-Hg	(mg/kg)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	Se	(mg/kg)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
	B	(mg/kg)	13.3	12.3	12.3	11.3	7.2
	F	(mg/kg)	61.6	61.6	61.6	41.0	30.9
	Cu	(mg/kg)	87.3	93.4	112	92.3	12.3
	Zn	(mg/kg)	283	280	339	290	59.7

＊　＜：検液の濃度が定量下限値未満であった

表 5-17　アベイラビリティと試料中のセメントに含まれる含有量計算値の比較（単位：mg/kg）

項目		5. E11/1 R0	6. E11/1 R1	17. E11/23 R0	18. E11/23 R1	21. N
Pb	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
	含有量計算値	7.9	8.7	7.5	8.3	12.0
Cr^{6+}	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
	含有量計算値	1.0	0.6	1.2	0.16	0.79
T-Cr	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	13.3	8.5	11.3	9.1	3.9
	含有量計算値	36.7	38.3	47.0	47.0	8.6
As	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	0.21	0.21	0.21	0.21	0.31
	含有量計算値	3.1	3.1	2.0	2.1	1.6
B	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	13.3	12.3	12.3	11.3	7.2
	含有量計算値	10.5	10.3	13.0	12.1	6.3
F	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	61.6	61.6	61.6	41.0	30.9
	含有量計算値	72.8	72.5	67.9	69.3	47.3
Cu	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	87.3	93.4	112	92.3	12.3
	含有量計算値	190	194	217	209	30.7
Zn	ｱﾍﾞｲﾗﾋﾞﾘﾃｨ	283	280	339	290	59.7
	含有量計算値	419	418	485	484	70.8

5.6.2 タンクリーチング試験

(1) 使用材料

アベイラビリティ試験に用いたものと同じ E 11/1-R1、E 11/1-R0、E 11/23-R1、E 11/23-R0 および N を用いた。

(2) 供試体作製および養生方法

アベイラビリティ試験に用いたコンクリートと同じコンクリートを用い、10×10×10 cmの供試体を作製した。なお、供試体は 1 水準に 2 個用いた。養生も前節と同様に封緘養生とし、養生期間を 28 日間とした。

(3) 試験方法

NEN 7345 および CEN (欧州標準化委員会－CEN/TC51 WG12/TG6(Leaching)－) により提案されている方法を参考に、以下に示す方法でタンクリーチング試験を実施した。溶媒には蒸留水を使用し、液／固比を容積比で 5 とした。10L のポリ容器に供試体 1 個と蒸留水 5L を入れ、所定時間まで浸漬静置した。試験開始から、1、7、28、56 日および 6 ヶ月後に溶媒を交換した。取り出した溶媒は 0.45 μm のメンブレンフィルタを用いてろ過し、検液とした。測定項目は、カドミウム、鉛、六価クロム、全クロム、砒素、総水銀、セレン、ほう素、ふっ素、銅、亜鉛、塩化物イオンおよび pH とした。

(4) 試験結果

表 5-18～表 5-22 にタンクリーチング試験結果を示す。普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントともに同様の結果であり、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレンおよびほう素はいずれも定量下限値未満であった。ふっ素が一部で検出されたがほとんど定量下限値に近い濃度であった。その他には、全クロム、銅および亜鉛が定量された。これら 3 元素にはいわゆる環境基準値はない。また還元剤の影響は特に認められなかった。塩化物イオンが 6 ヵ月後に検出されたが、これは、表面部から中性化により水和物が分解したためと推察される。検液の pH はいずれにおいても 12 程度の高いアルカリ性を示した。

本試験結果より、環境基準項目にある微量成分のコンクリート硬化体からの溶出は認められず、コンクリートとしての利用における安全性が確認された。

表 5-18　タンクリーチング試験結果（浸漬時間：1日）

項目	5. E 11/1 R0		6. E 11/1 R1		17. E 11/23 R0		18. E 11/23 R1		21. N		定量下限値
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Pb (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Cr^{6+} (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
T-Cr (mg/l)	0.007	0.007	0.005	0.007	0.008	0.007	0.007	0.005	0.006	0.004	0.002
As (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
T-Hg (mg/l)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Se (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
B (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
F (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cu (mg/l)	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001
Zn (mg/l)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.008	0.004	0.004	0.008	0.007	0.001
Cl^- (mg/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
pH (液温℃)	11.9 (23.5)	11.7 (22.9)	11.8 (23.0)	11.9 (23.2)	11.8 (22.8)	11.8 (22.7)	11.9 (22.6)	11.9 (23.2)	11.9 (23.4)	11.8 (23.5)	—

表 5-19　タンクリーチング試験結果（浸漬時間：7日）

項目	5. E 11/1 R0		6. E 11/1 R1		17. E 11/23 R0		18. E 11/23 R1		21. N		定量下限値
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Pb (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Cr^{6+} (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
T-Cr (mg/l)	0.010	0.010	0.008	0.009	0.011	0.011	0.010	0.010	0.006	0.005	0.002
As (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
T-Hg (mg/l)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Se (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
B (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
F (mg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cu (mg/l)	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001
Zn (mg/l)	0.005	0.006	0.016	0.003	0.009	0.005	0.009	0.005	0.004	0.008	0.001
Cl^- (mg/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
pH (液温℃)	11.9 (22.5)	12.0 (22.3)	12.0 (22.0)	11.9 (22.3)	12.0 (22.0)	12.0 (21.8)	12.1 (21.4)	12.1 (21.5)	12.1 (21.7)	12.0 (21.5)	—

表 5-20　タンクリーチング試験結果（浸漬時間：28日）

項目	5. E 11/1 R0		6. E 11/1 R1		17. E 11/23 R0		18. E 11/23 R1		21. N		定量下限値
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
Cd (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Pb (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Cr^{6+} (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
T-Cr (mg/l)	0.008	0.008	0.007	0.008	0.010	0.010	0.009	0.009	0.005	0.004	0.002
As (mg/l)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
T-Hg (mg/l)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
Se (mg/l)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
B (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02
F (mg/l)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cu (mg/l)	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001
Zn (mg/l)	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002	0.001
Cl^- (mg/l)	0.6	<0.5	0.5	0.8	0.8	1.1	0.9	0.8	<0.5	<0.5	0.5
pH (液温℃)	12.1 (21.5)	12.1 (21.6)	12.1 (21.6)	12.1 (21.6)	12.1 (21.6)	12.2 (21.6)	12.2 (21.7)	12.2 (21.6)	12.1 (21.7)	12.1 (22.0)	—

表 5-21　タンクリーチング試験結果（浸漬時間：56 日）

項目	5. E 11/1 R0		6. E 11/1 R1		17. E 11/23 R0		18. E 11/23 R1		21. N		定量下限値
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
Cd (mg/l)	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	0. 001
Pb (mg/l)	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	0. 01
Cr^{6+} (mg/l)	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	0. 02
T-Cr (mg/l)	0. 006	0. 006	0. 008	0. 008	0. 006	0. 006	0. 007	0. 007	0. 004	0. 004	0. 002
As (mg/l)	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	0. 001
T-Hg (mg/l)	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	0. 0005
Se (mg/l)	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	0. 002
B (mg/l)	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	0. 02
F (mg/l)	0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	0. 1
Cu (mg/l)	0. 004	0. 003	0. 004	0. 004	0. 003	0. 002	0. 002	0. 003	0. 002	0. 002	0. 001
Zn (mg/l)	0. 004	0. 004	0. 006	0. 005	0. 003	0. 005	0. 004	0. 004	0. 002	0. 003	0. 001
Cl^- (mg/l)	<0. 5	<0. 5	0. 6	<0. 5	<0. 5	<0. 5	<0. 5	0. 6	<0. 5	0. 6	0. 5
pH (液温℃)	11. 9 (22. 4)	11. 9 (22. 2)	12. 0 (22. 1)	12. 0 (21. 7)	12. 0 (22. 0)	11. 9 (22. 1)	12. 0 (22. 5)	12. 0 (21. 7)	11. 9 (21. 9)	11. 9 (22. 3)	—

表 5-22　タンクリーチング試験結果（浸漬時間：6 ヶ月）

項目	5. E 11/1 R0		6. E 11/1 R1		17. E 11/23 R0		18. E 11/23 R1		21. N		定量下限値
	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	
Cd (mg/l)	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	0. 001
Pb (mg/l)	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	<0. 01	0. 01
Cr^{6+} (mg/l)	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	0. 02
T-Cr (mg/l)	0. 005	0. 006	0. 005	0. 005	0. 008	0. 007	0. 006	0. 010	0. 003	0. 003	0. 002
As (mg/l)	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	<0. 001	0. 001
T-Hg (mg/l)	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	<0. 0005	0. 0005
Se (mg/l)	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	<0. 002	0. 002
B (mg/l)	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	<0. 02	0. 02
F (mg/l)	0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	<0. 1	0. 1
Cu (mg/l)	0. 005	0. 005	0. 006	0. 005	0. 005	0. 006	0. 005	0. 006	0. 004	0. 003	0. 001
Zn (mg/l)	0. 006	0. 008	0. 006	0. 006	0. 007	0. 009	0. 008	0. 01	0. 003	0. 002	0. 001
Cl^- (mg/l)	1. 4	2. 6	2. 4	2. 4	2. 6	3. 2	1. 7	2. 4	1. 1	1. 7	0. 5
pH (液温℃)	12. 1 (22. 1)	12. 1 (21. 9)	12. 2 (22. 2)	12. 1 (22. 1)	12. 2 (22. 1)	12. 2 (22. 3)	12. 2 (22. 4)	12. 2 (22. 2)	12. 0 (22. 5)	12. 0 (22. 6)	—

5.6.3 溶出特性の評価

タンクリーチング試験において検出された全クロム、銅および亜鉛について、供試体1個当たりの溶出量の累積値を図5-1～図5-3に示す。全クロムについては、エコセメントコンクリートの方が普通セメントコンクリートと比較して溶出しやすい傾向を示した。また、銅および亜鉛についてもエコセメントコンクリートの方が溶出量が若干大きくなる傾向が認められた。

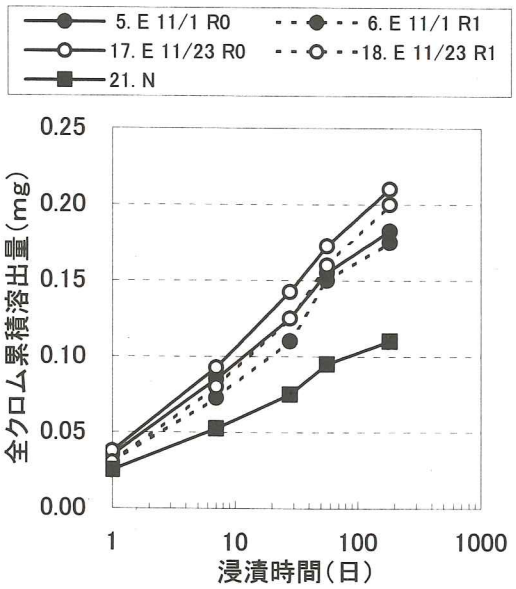


図5-1 全クロムの累積溶出量
(供試体1個当たり)

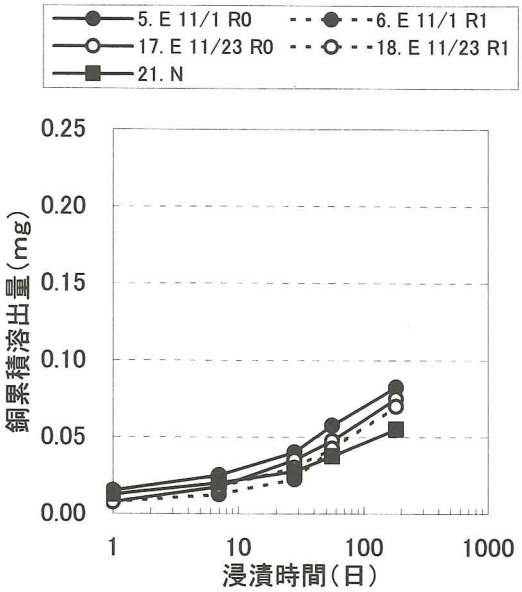


図5-2 銅の累積溶出量
(供試体1個当たり)

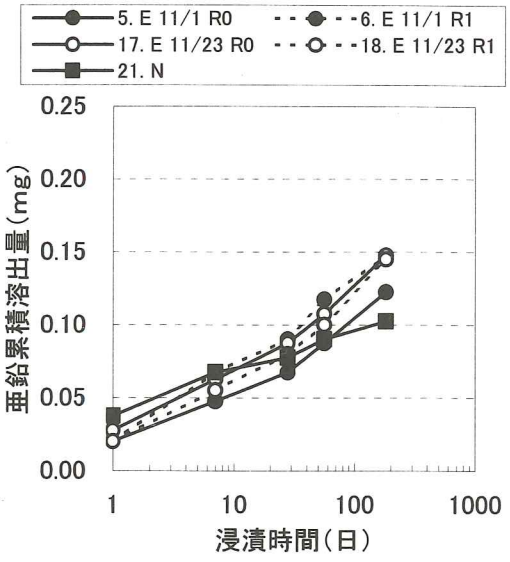


図5-3 亜鉛の累積溶出量(供試体1個当たり)

測定結果をもとに、全クロム、銅および亜鉛についての各試験体における拡散係数 De を以下により求めた。

$$De = 10^{-pDe}$$

ここに、 $$pDe = \frac{\sum_{i-1}^{n} pD_{e,i}}{n}$$

$$pDe,i = -\log De,i$$

$$D_{e,i} = \frac{\pi (E_i)^2}{4 \cdot (U_{max} \cdot \rho)^2 \cdot (\sqrt{t_i} - \sqrt{t_{i-1}})^2}$$

ただし、 $D_{e,i}$: 区間 i における拡散係数 (m^2/s)
E_i : 区間 i における溶出量 (mg/m^2)
U_{max} : アベイラビリティ (mg/kg)
ρ : 試料の密度 (kg/m^3)
t_i : 区間 i までの接触時間 (s)
t_{i-1} : 区間 i-1 までの接触時間 (s)

さらに、拡散係数 De を用いて、100 年間の累積溶出量を以下により求めた。

$$E = 2 \cdot \rho \cdot U_{max} \cdot \sqrt{\frac{De \cdot t}{\pi}}$$

ただし、 E : 時間 t までの累積溶出量 (mg/m^2)
ρ : 試料の密度 (kg/m^3)
U_{max} : アベイラビリティ (mg/kg)
t : 時間 (s)

計算結果を表 5-23 に示す。拡散係数は 10^{-15} から 10^{-19} といずれも移動性の低い元素であると認められる。普通エコセメントと普通ポルトランドセメントでは拡散係数には大差が無いが、アベイラビリティが普通エコセメントの方が大きいため、溶出量に差が出たと考えられる。

表 5-23 の右端には、100 年間で溶出した量の全てが、コンクリートと接する土壌 10cm 以内に留まったときに、乾燥土壌中の濃度をどの程度上昇させるかを算出した結果を示す。ただし、周辺土壌の乾燥密度は 2.0g/cm³ と仮定した。仮に、この乾燥土壌を用いて環告 46 号法により溶出試験を行ったときに、全てが溶出するとすると、検液中の濃度はこの数値の 10 分の 1 (mg/l) となる。

以上、コンクリート硬化体によるタンクリーチング試験結果では環境基準項目にある微量成分については、溶出が認められなかったため、溶出が認められた全クロム、銅および亜鉛の 3 元素について、その溶出特性を評価した。その結果、エコセメントコンクリートおよび普通セメントコンクリートとも拡散係数は小さく、セメントによる差は認められなかった。ただし、エコセメントのほうがこれら 3 元素のアベイラビリティが大きいために、長期的な累積溶出量は大きくなる傾向が認められた。

表 5-23　拡散係数 De および 100 年間の累積溶出量計算値

対象元素	試料名	アベイラビリティ Umax (mg/kg)	pDe	拡散係数 De (m^2/s)	100 年間の累積溶出量 (mg/m^2)	100 年後の周辺土壌 10cm における濃度上昇 (mg/kg-dry)
T-Cr	5. E 11/1 R0	13.3	15.4	4.28E-16	41.5	0.21
	6. E 11/1 R1	8.5	14.9	1.14E-15	41.1	0.21
	17. E 11/23 R0	11.3	15.0	8.95E-16	48.5	0.24
	18. E 11/23 R1	9.1	14.9	1.36E-15	48.7	0.24
	21. N	3.9	14.8	1.60E-15	24.0	0.12
Cu	5. E 11/1 R0	87.3	17.7	1.98E-18	18.5	0.09
	6. E 11/1 R1	93.4	17.9	1.24E-18	14.9	0.07
	17. E 11/23 R0	112	17.9	1.27E-18	18.1	0.09
	18. E 11/23 R1	92.3	17.8	1.54E-18	16.7	0.08
	21. N	12.3	16.4	3.71E-17	11.5	0.06
Zn	5. E 11/1 R0	283	18.3	4.57E-19	28.8	0.14
	6. E 11/1 R1	280	18.1	7.79E-19	35.5	0.18
	17. E 11/23 R0	339	18.3	4.73E-19	33.5	0.17
	18. E 11/23 R1	290	18.2	6.69E-19	34.5	0.17
	21. N	59.7	17.5	3.44E-18	17.0	0.09

5.7　5章のまとめ

普通エコセメントの微量成分含有量および硬化体からの溶出特性を、普通ポルトランドセメントと比較検討した結果、以下の結論が得られた。

(1) 普通エコセメント中の微量成分含有量は、全クロム、銅および亜鉛については普通ポルトランドセメント中の含有量よりも多く、鉛、六価クロムおよび砒素についてはほぼ同等、カドミウム、水銀、セレンおよびシアンはいずれも定量下限値未満であった。また、それら含有量の変動は比較的小さいと考えられた。

(2) 普通エコセメントを用いたモルタルおよびコンクリート硬化体を粉砕して環境庁告示46号法による溶出試験を行った結果、還元剤の添加の有無、水セメント比、養生方法および養生材齢によらず、環境基準の定められた項目（Cd、Pb、Cr^{6+}、As、T-Hg、Se、B、F）についていずれも低い値を示した。本来この試験方法は、土壌に対して適用されるもので、実際にコンクリートとして利用される状況よりも厳しい評価である。本法により、環境基準値を満たす結果が得られたことから、コンクリートとしての利用においては、環境に対する安全性は十分確保されているものと考えられる。

(3) コンクリート硬化体を用いたタンクリーチング試験の結果、普通エコセメントを用いた場合、還元剤の有無によらず、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同様に、環境基準の定められた項目についてはいずれもほぼ定量下限値未満であり、一般的なコンクリートとしての利用における安全性が確認された。ただし、全クロム、銅および亜鉛は普通エコセメント、普通ポルトランドセメントいずれの場合もわずかに溶出が確認され、その溶出特性は最大可能溶出量（アベイラビリティ）の違いが反映していた。

[参考文献]

5-1) エコセメント製品の重金属類溶出試験に関する検討委員会　報告書、廃棄物学会、2000.3

5-2) 高橋茂:セメントに含まれる微量成分の環境への影響、セメント・コンクリート、No.640. Jun. 2000

5-3) Waldemar A. Klemm : Hexzvalent Chromium in Portland Cement, Cement Concrete and Aggregate, pp. 43-47, 1994

5-4) 土木学会：コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題、コンクリートライブラリー、No.111、2003年発刊予定

5-5) 都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術　実証試験結果報告書、(財) クリーン・ジャパン・センター、1997.9

5-6) NEN 7345「Leaching Characteristics of Soil and Stony Building and Waste Materials – Leaching Tests – Determination of the Leaching of Inorganic Components from Building and Monolithic Waste Materials with the Diffusion Test (Draft), Revision 1995.4

6　普通エコセメントを用いた鉄筋コンクリートの力学性状

6.1　はじめに

鉄筋コンクリート部材に普通エコセメントを適用するためには、鉄筋とコンクリートの付着性状および部材としての力学的性状を確認する必要がある。ここでは、コンクリートと鉄筋との付着性状試験および鉄筋コンクリートはりの曲げ試験ならびにせん断試験を実施し、普通エコセメントの鉄筋コンクリート部材（コンクリート製品）への適用性を確認することを目的とした。

6.2　普通エコセメントを用いたコンクリートの鉄筋付着強度試験

6.2.1　実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表 6-1 に示す。鉄筋とコンクリートの付着強度に対しては、コンクリートの打設方向の影響が大きいのでこれを実験の要因とした。また、鉄筋の形状、ならびに鉄筋径の違いが付着強度に及ぼす影響も考えられるが、ここでは異形鉄筋で鉄筋径 D16mm の場合について検討した。

表 6-1　実験の要因と水準

要因	水準
セメントの種類	普通エコセメント (E) 普通ポルトランドセメント (N)
鉄筋の形状	異形鉄筋
鉄筋径	D16mm
鉄筋埋設位置	垂直、水平 (上)、水平 (下)

(2) 使用材料およびコンクリート配合

使用材料は表 4-4 に示す材料と同様である。 使用した鉄筋は JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) に適合するもので、その種類および力学的性質を表 6-2 に示す。また、コンクリート配合を表 6-3 に示す。

表 6-2　使用した鉄筋の種類および力学的性質

鋼材の種類		降伏点	引張強度	伸び	ヤング係数
呼び径	区分	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)	(kN/mm^2)
D16	SD345	369	530	22	183

表 6-3　コンクリート配合およびフレッシュ性状試験結果

セメント	配合条件		単位量　(kg/m^3)					SP	フレッシュ試験結果	
	W/C (%)	s/a (%)	W	C	S	G5号	G6号	C×(%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
E	45	45	168	373	783	584	386	0.75	14.7	5.1
N	45	46	168	373	800	572	379	0.35	18.0	5.3

(3) 試験体の作製および付着試験概要

試験体の作製は強制練りパン型ミキサ（公称容量 100L）を用いてコンクリートの練混ぜを行い、あらかじめ打設方向を想定して鉄筋を配筋した型枠内にコンクリートを流し込み蒸気養生を行った。蒸気養生は図 4-3 に示した方法により行った。蒸気養生後は湿布養生を行い材齢 28 日で試験を実施した。フレッシュ性状は練混ぜ直後にスランプ試験、空気量試験を実施した。

図 6に試験体形状、配筋状況を示す。付着試験は JIS 原案「鉄筋とコンクリートとの付着試験方法（案）」に準じた。試験は変位を測定する目的で、鉄筋チャック上端部に変位計を取り付け、鉄筋とコンクリートのすべり量を荷重と同時に測定した。なお、試験体は各水準 3 本作製した。

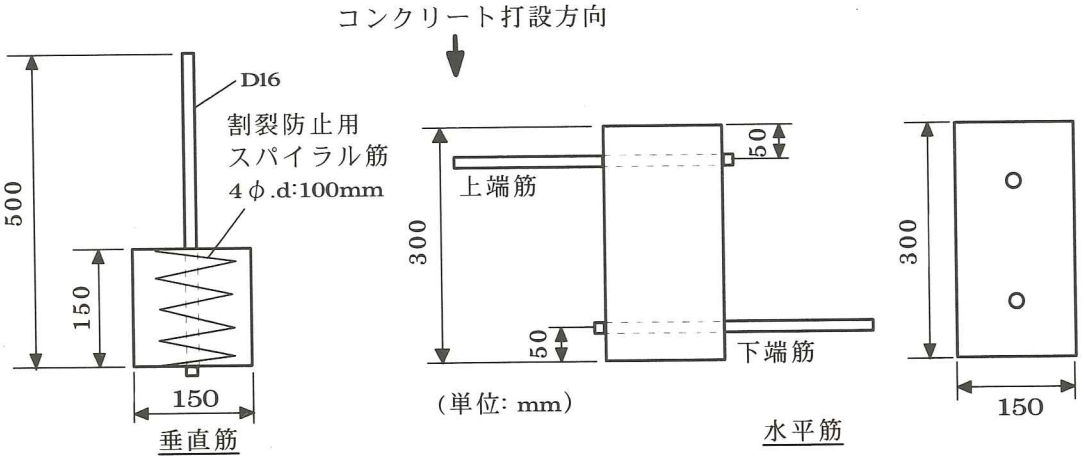


図 6-1　試験体形状、配筋および鉄筋付着試験方法

6.2.2　実験結果および考察

(1) 付着強度

①セメント種類の影響

表 6-4 に付着強度試験結果を示す。図 6-2 に普通エコセメント（E）および普通ポルトランドセメント(N) を用いた場合の付着強度を鉄筋の埋込み方向別に示す。これによると、普通エコセメントを用いた場合の付着強度は、普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べ 112～121%（平均 116%）の値を示し、平均で約 16%の増加を示した。また、水平筋下部に対する水平筋上部の付着強度の低下率は、普通ポルトランドセメントの場合で 8%、普通エコセメントを用いた場合で 1%の値を示した。全体として普通エコセメントを用いた場合の付着強度は普通ポルトランドセメントを用いた場合に比べ良好であり、鉄筋の埋込み方向および位置の違いによる影響もほとんど見られなかった。

表 6-4　付着試験結果一覧

セメントの種類	埋込み状況	コンクリート圧縮強度 f'_c (N/mm²)	供試体番号	異形棒鋼 (D16)						τ_b/f'_c (%)
				すべり量 0.002D 時付着応力度 τ_i (N/mm²)		最大引張荷重時				
						すべり量 (mm)		付着応力度 τ_b (N/mm²)		
				測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値	
E	垂直筋	35.8	1	2.01	1.68	1.04	1.19	21.8	21.9	61.2
			2	1.50		1.41		22.0		
			3	1.53		1.11		22.0		
	水平筋上端		1	1.86	1.87	1.33	1.21	22.0	21.6	60.3
			2	1.79		1.08		22.1		
			3	1.96		1.21		20.8		
	水平筋下端		1	1.76	1.84	1.07	0.94	22.0	21.9	61.2
			2	1.86		0.89		22.0		
			3	1.89		0.85		21.8		
N	垂直筋	40.5	1	—	1.50	—	1.20	—	19.3	47.7
			2	1.45		1.11		19.4		
			3	1.54		1.29		19.2		
	水平筋上端		1	1.43	1.53	0.76	0.88	16.5	17.9	44.2
			2	1.65		0.97		18.7		
			3	1.52		0.91		18.4		
	水平筋下端		1	1.57	1.68	0.97	1.02	19.6	19.5	48.1
			2	1.68		0.92		19.4		
			3	1.79		1.18		19.5		

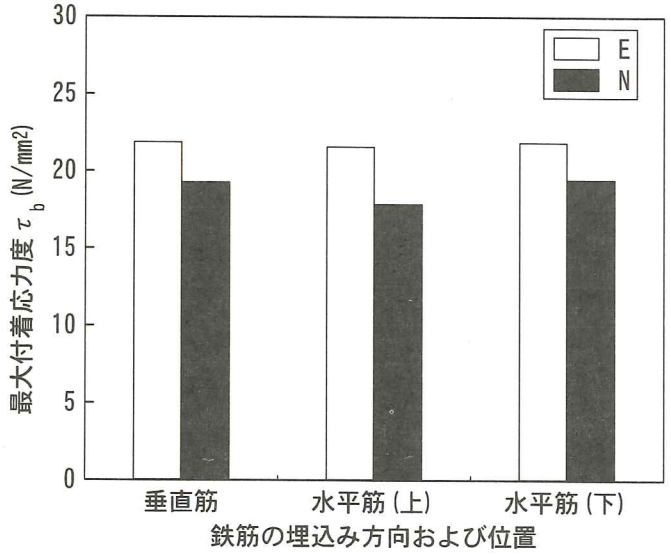


図 6-2　鉄筋の埋込み方向および位置の違いによるコンクリートの最大付着応力度

②圧縮強度との関係

図 6-3 に圧縮強度に対する最大付着応力度（τ_b）の比を鉄筋の埋込み方向別に示す。普通ポルトランドセメントの場合、44～48％（平均約 47％）の値を示し、水平筋上部では、水平筋下部に比べ約４％の低下が見られた。それに対し普通エコセメントを使用した場合では、鉄筋の埋込み方向および位置の違いに関係なく約 60％の値を示した。

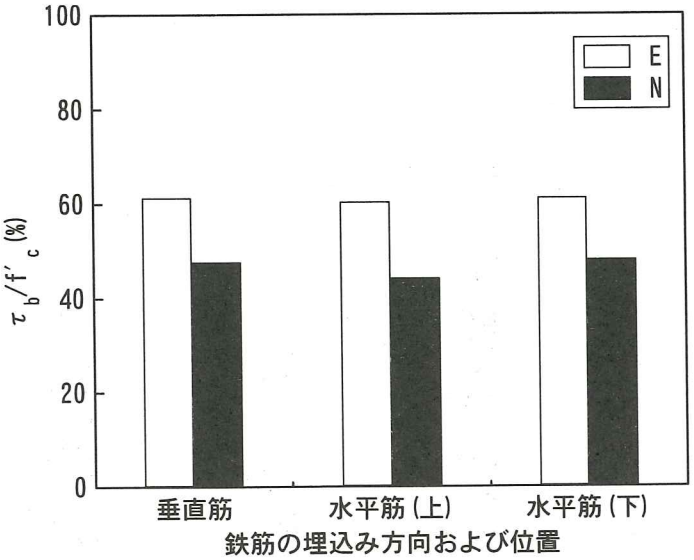


図 6-3　圧縮強度に対する最大付着応力度（τ_b）の比の関係

③許容付着応力度との比較

表 6-5 に土木学会「コンクリート標準示方書・設計編」に規定されている許容付着応力度を示すが、異形鉄筋を使用した場合には、普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントを用いた場合ともに、許容付着応力度を十分に上まわる付着応力度を示した。

表 6-5　許容付着応力度 (N/mm²)

鉄筋の種類	設計基準強度 f'ck (N/mm²)			
	18	24	30	40 以上
普通丸鋼	0.7	0.8	0.9	1.0
異形鉄筋	1.4	1.6	1.8	2.0

(2) すべり量

①最大付着応力度（τ_b）時のすべり量

図 6-4 に最大付着応力度（τ_b）時における鉄筋の埋込み方向および位置の違いによる自由端の鉄筋すべり量の値を示す。これによると鉄筋を垂直に配置した場合および水平下端に配置した場合の普通エコセメントの場合の鉄筋すべり量は、普通ポルトランドセメントの場合と同程度であった。しかし、水平上端に配置した場合においては、普通エコセメントを使用した場合の鉄筋すべり量は、普通ポルトランドセメントを使用した場合の約 1.4 倍であった。

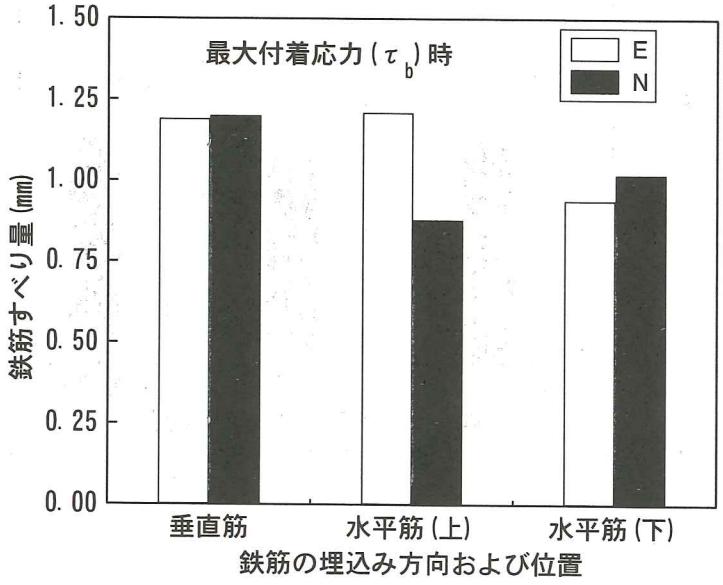


図 6-4　最大付着応力度（τ_b）時における鉄筋すべり量

②すべり量とτ_{bs}/f'_cとの関係

図 6-5 および図 6-6 に自由端の鉄筋すべり量とτ_{bs}/f'_cの関係をプロットした例を示す。鉄筋を垂直に配置した場合において、普通エコセメントを使用したコンクリートの付着応力度（τ_{bs}）は、すべり量が小さい段階では普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様であったが、すべり量が大きくなるにつれて普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも徐々に大きくなる傾向が認められた。また、水平筋を上端および下端に配置した場合では、普通エコセメントを使用したコンクリートと普通ポルトランドセメントを使用した場合とでは明確な差異は認められなかった。これらより、普通エコセメントを用いる場合におのすべり量とτ_{bs}/f'_cとの関係は、普通ポルトランドセメントの場合と同等に扱うことが可能であることを確認した。

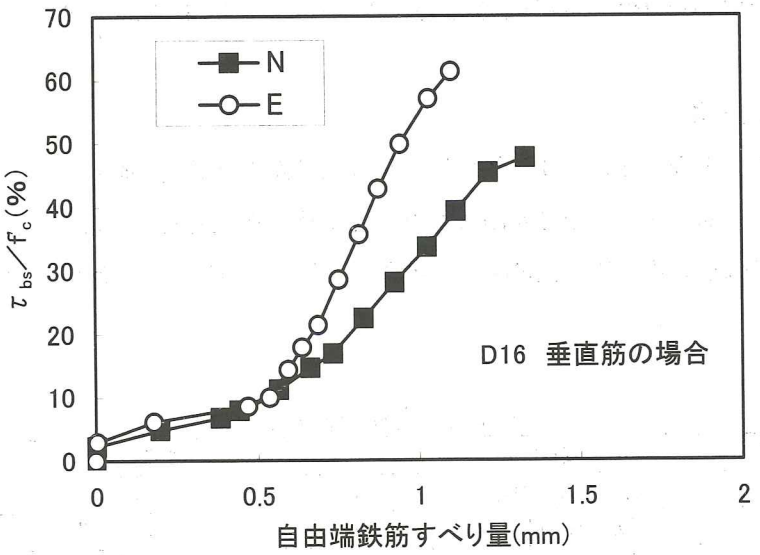


図 6-5　垂直に配置した鉄筋の自由端鉄筋すべり量と τ_{bs}/f'_c の関係

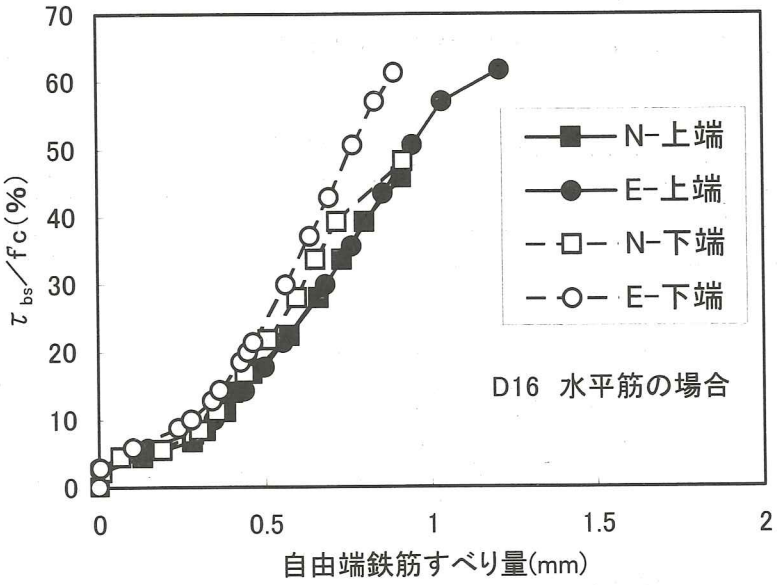


図 6-6　水平に配置した鉄筋の自由端鉄筋すべり量と τ_{bs}/f'_c の関係

6.3 普通エコセメントを用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ・せん断性状

6.3.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表 6-6 に示す。鉄筋比ならびにせん断補強筋間隔は、はり部材の破壊性状が曲げ引張破壊、曲げ圧縮破壊およびせん断破壊となるように変化させた。なお、曲げ引張破壊を想定した試験体に関してはその鉄筋比を、釣り合い鉄筋比の 75%、釣り合い鉄筋比の 50%以下の 2 水準とした。

表 6-6 実験の要因と水準

要因	水準
セメントの種類	E、N
鉄筋比 (%)	2.5、4.0、5.6
せん断補強筋間隔 (mm)	40、80、120

(2) 使用材料およびコンクリート配合

使用材料は表 4-4 と同様である。使用した鉄筋を表 6-7 に、コンクリートの配合を表 6-8 に示す。

表 6-7 使用した鉄筋の種類

使用箇所	鉄筋の径	規格
主筋	D25、D32、D38	SD345
せん断補強筋	D10	SD345

表 6-8 コンクリート配合

セメント	配合条件		単位量 (kg/m^3)				SP
	W/C (%)	s/a (%)	W	C	S	G	C× (%)
E	45	43	168	373	783	1050	0.75
N	45	43	168	373	781	1048	0.30

(3) 試験体の作製および載荷試験概要

試験体の作製は強制練りパン型ミキサ (公称容量 100L) を用いてコンクリートの練混ぜを行い、あらかじめ所定の鉄筋を配筋した型枠内にコンクリートを流し込み蒸気養生を行った。蒸気養生は図 4-3 と同様の方法により行った。蒸気養生後は湿布養生を行い材齢 28 日で載荷試験を実施した。フレッシュ性状は練混ぜ直後にスランプ試験、空気量試験を実施した。試験体形状および載荷方法を図 6-7 に示す。はりの曲げ、せん断試験時の載荷は残留変位を確認する目的で、ひび割れ発生荷重に達した時点で一旦除荷し再び破壊まで載荷した。ひずみは、はり試験体のコンクリート圧縮面、引張面ならびに側面にワイヤストレインゲージを貼り付け、たわみは中央、支点位置にたわみ計を設置し、測定した。

せん断補強には D10mm (SD345) を 40mm、80mm 並びに 120mm 間隔で使用し、破壊性状を曲げ破壊、せん断破壊となるように設計した。曲げ試験の試験体の種類を表 6-9 に示す。

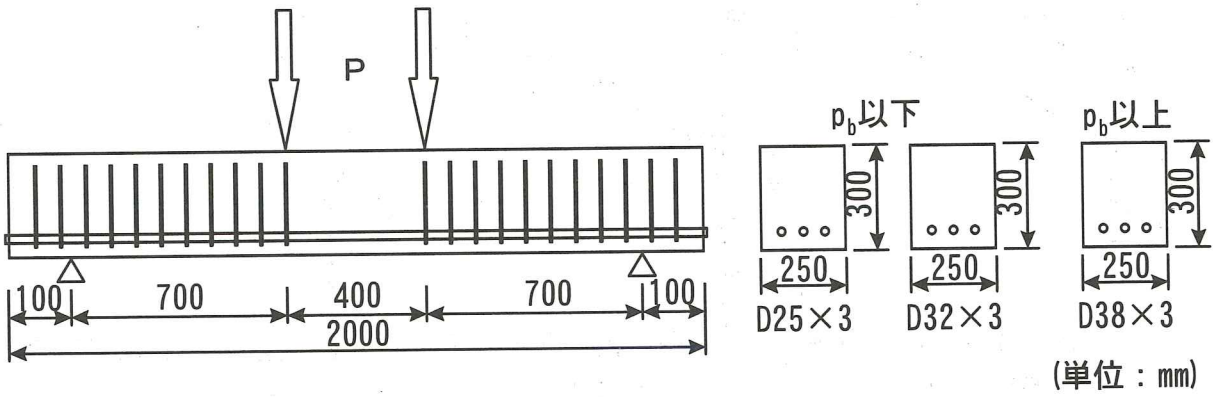


図 6-7　配筋、供試体形状および載荷方法

表 6-9　試験体の種類（曲げ試験）

諸元 / 試験体の種類	b (mm)	d (mm)	p	破壊性状
E－25－40	250	244	0.0249	曲げ引張
E－32－40	250	244	0.0391	
E－38－40	250	243	0.0563	曲げ圧縮
E－38－80	250	241	0.0568	せん断
E－38－120	250	242	0.0565	
N－25－40	250	243	0.0250	曲げ引張
N－32－40	250	242	0.0394	
N－38－40	250	243	0.0563	曲げ圧縮
N－38－80	250	240	0.0570	せん断
N－38－120	250	242	0.0565	

ここにｂ：はり幅、ｄ：はりせい、ｐ：鉄筋比
凡例：E－25－40（セメントの種類－主筋－せん断補強筋間隔）

6.3.2　実験結果

コンクリートのフレッシュ性状および載荷時点での強度試験結果を表 6-10 に、また鉄筋の試験結果を表 6-11 および図 6-8 に示す。はりの曲げ、せん断試験結果一覧を表 6-12 に示す。ひび割れ発生荷重は目視によるものであり、最大たわみは測定可能範囲における最大値を示した。

表 6-10　コンクリートの試験結果一覧

セメントの種類	フレッシュ性状		硬化性状			
	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N／mm²)	引張強度 (N／mm²)	曲げ強度 (N／mm²)	静弾性係数 (kN／mm²)
E	17.0	3.3	48.9	2.6	5.6	32.3
N	15.5	3.4	52.7	3.1	6.2	32.9

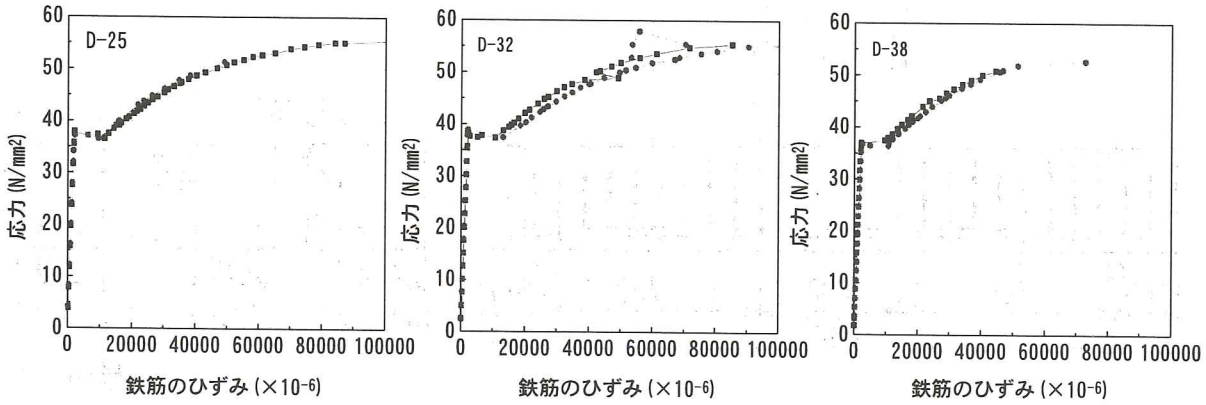


図 6-8　鉄筋の引張試験結果

表 6-11　鉄筋の引張試験結果一覧

鉄筋の種類	降伏強度 (N／mm^2)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	ヤング係数 (kN／mm^2)
D25 (SD345)	376	2070	181
D32 (SD345)	382	2070	185
D38 (SD345)	365	2090	175

表 6-12　はりの曲げ試験、せん断試験結果

セメントの種類＼試験項目		ひび割れ発生荷重 P_{cr} (kN)	ひび割れモーメント M_{cr} (kN・m)	破壊荷重 P_u (kN)	破壊モーメント M_u (kN・m)	M_u/M_{cr}	最大たわみ δ_u (mm)	破壊性状
E	E-25-40	60.0	21.0	408.0	142.8	6.80	11.71	曲げ引張
	E-32-40	60.0	21.0	575.2	201.3	9.59	8.41	
	E-38-40	50.0	17.5	715.2	250.3	14.30	7.04	曲げ圧縮
	E-38-80	55.0	19.3	671.3	—	—	7.01	せん断
	E-38-120	50.0	17.5	622.4	—	—	8.05	
N	N-25-40	80.0	28.0	405.0	141.8	5.06	14.04	曲げ引張
	N-32-40	60.0	21.0	581.2	203.4	9.69	6.02	
	N-38-40	60.0	21.0	753.0	263.6	12.55	6.62	曲げ圧縮
	N-38-80	45.0	15.8	684.9	—	—	9.40	せん断
	N-38-120	80.0	28.0	631.4	—	—	8.05	

6.3.3　荷重－ひずみの関係

はりの荷重と圧縮側コンクリートおよび引張鉄筋のひずみの測定結果を図 6-9、図 6-10 および図 6-11 に示す。また、図中にひび割れ発生後から鉄筋降伏またはコンクリート圧縮縁応力が圧縮強度に達するまでを弾性範囲とし、コンクリートの引張強度を無視した許容応力度設計法により算出した圧縮コンクリートと鉄筋ひずみの計算結果も併せて示した。これらの図から鉄筋量が少ない D25－３本、D32－３本の場合には、鉄筋降伏が先行することが示されている。特に D25－３本の場合は鉄筋の降伏後もコンクリートのひずみが増加し急激な耐力低下が少ない鉄筋降伏型の破壊であることがひずみの図にも示されている。一方、鉄筋量の最も多い D38－３本の試験体においては終局時の釣り合い鉄筋比に近い鉄筋比であり、鉄筋の降伏とほぼ同時にコンクリートの圧縮破壊に至ったことが示されてい

る。これらの傾向は普通エコセメント(E)と普通ポルトランドセメント(N)で同様の傾向を示しており、セメントの種類が曲げ挙動に及ぼす影響は認められない。

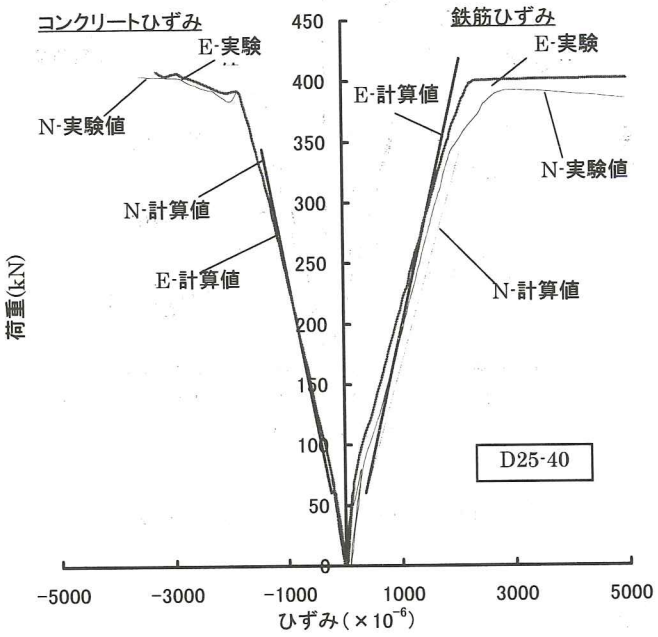


図 6-9　荷重－ひずみの関係 (D25-40)

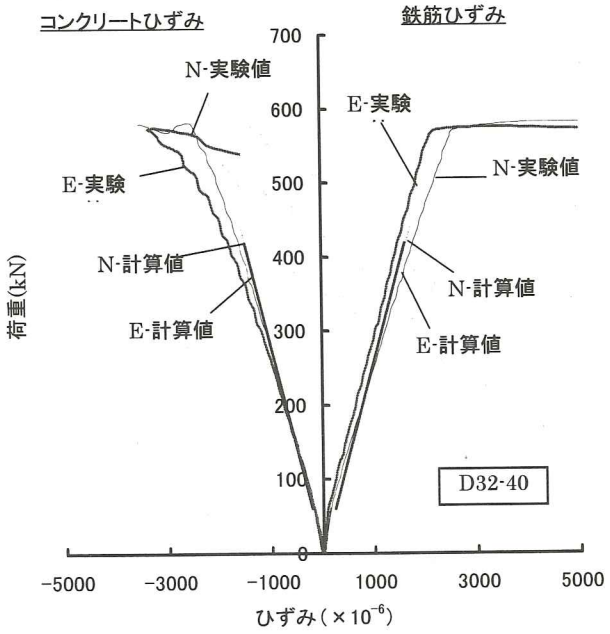


図 6-10　荷重－ひずみ関係 (D32-40)

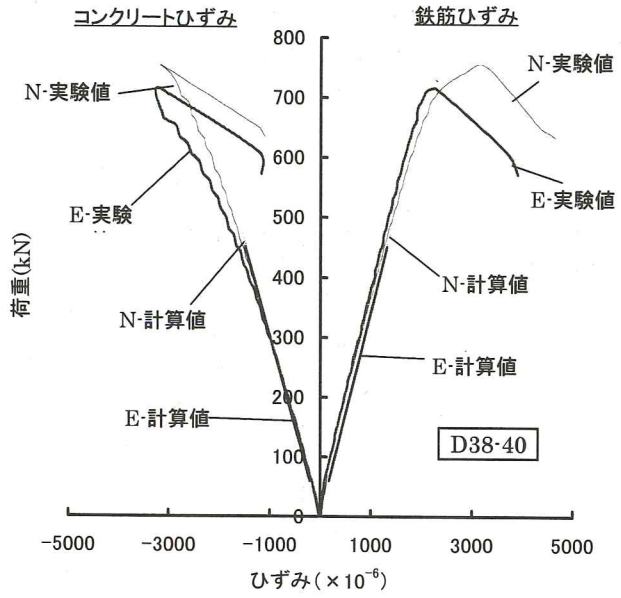


図 6-11　荷重－ひずみの関係 (D38-40)

6.3.4　荷重－たわみの関係

荷重－たわみの関係を図6-12 に示す。荷重－たわみの関係においても普通エコセメントと普通ポルトランドセメントで同様の関係を示しており、セメントの種類がたわみに及ぼす影響がないことが認められた。

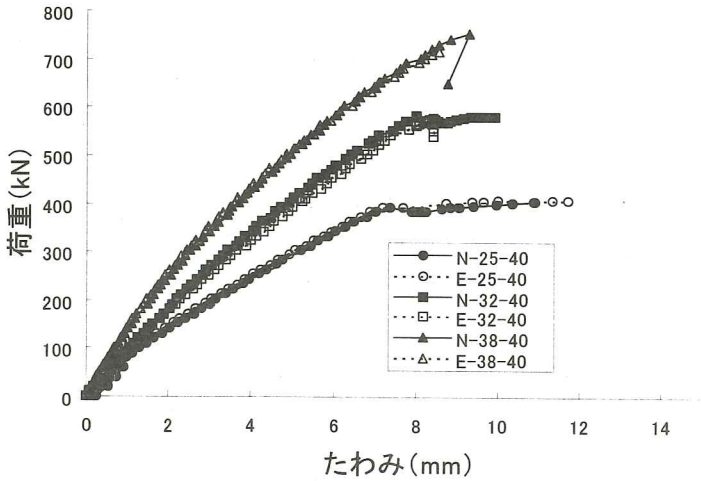


図 6-12　荷重－たわみの関係

6.3.5　ひび割れ発生荷重、終局荷重

ひび割れ発生荷重、終局荷重の実測値、並びに計算結果を表 6-13 に、また、計算結果に用いた、物性値を前掲の表 6-10 および表 6-11 に示す。なお、資料 31 にひび割れ発生荷重および終局荷重の計算方法を示す。

曲げ引張破壊の場合、終局耐力 M_u に及ぼすはりの有効高さ d、引張鉄筋比 p および鉄筋の降伏点 f_y の影響が大きいため、これらの関係を無次元の形で表した M_u/bd^2 と $p \cdot f_y$ との関係を図 6-13 に示す。図中に計算結果も併せて示す。

ひび割れ発生荷重および終局荷重は計算結果とよく一致し、またセメントの種類による差は見られない。終局荷重はどちらのセメントを使用した場合でも実測値が計算値より大きく安全側の結果となっている。

Mu/bd^2 と $p \cdot f_y$ の関係においては $p \cdot f_y$ の増加に伴い Mu/bd^2 の増加傾向が計算値とほぼ一致し、それはセメントの種類に影響されないことがわかった。以上より、普通エコセメントを使用したコンクリートはり部材は、終局強度設計に一般的に使用されている計算方法を用いて設計できることが認められた。

表 6-13　ひび割れ荷重、最大荷重の実測値と計算値一覧

試験体	ひび割れ荷重					終局荷重					
	実験結果(目視)		計算結果		実験/計算	実験結果			計算結果		実験/計算
	荷重 (kN)	ﾓｰﾒﾝﾄ (kN·m)	荷重 (kN)	ﾓｰﾒﾝﾄ (kN·m)	比 -----	荷重 (kN)	ﾓｰﾒﾝﾄ (kN·m)	最大たわみ (mm)	荷重 (kN)	ﾓｰﾒﾝﾄ (kN·m)	比 -----
N-25-40	80	28.0	66.8	23.4	1.20	405.0	141.8	over 14.04	357.8	125.2	1.13
E-25-40	60	21.0	60.2	21.1	1.00	408.0	142.8	over 11.71	354.1	123.9	1.15
N-32-40	60	21.0	66.8	23.4	0.90	581.2	203.4	6.02	521.7	182.6	1.11
E-32-40	60	21.0	60.2	21.1	1.00	575.2	201.3	8.41	512.9	179.5	1.12
N-38-40	60	21.0	66.8	23.4	0.90	753.0	263.6	6.62	651.0	227.9	1.16
E-38-40	50	17.5	60.2	21.1	0.83	715.2	250.3	7.04	632.3	221.3	1.13
N-38-80	45	15.8	66.8	23.4	0.67	684.9	239.7	9.40	——	———	———
E-38-80	55	19.3	60.2	21.1	0.91	671.3	235.0	7.01	——	———	———
N-38-120	80	28.0	66.8	23.4	1.20	631.4	221.0	5.65	——	———	———
E-38-120	50	17.5	60.2	21.1	0.83	622.4	217.8	8.05	——	———	———

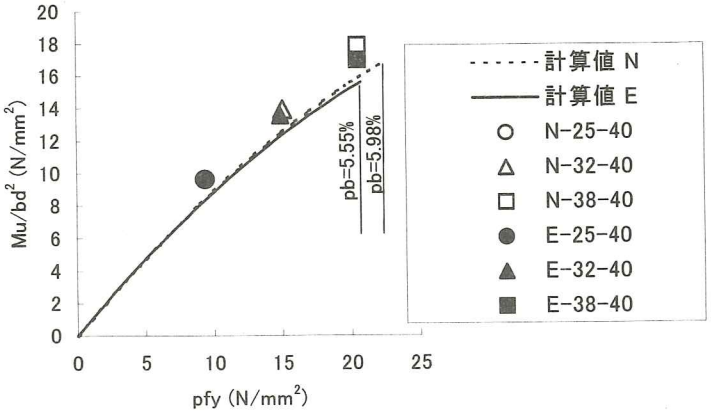


図 6-13　終局耐力と鉄筋比の関係

6.4　6章のまとめ

普通エコセメントを用いたコンクリートと鉄筋との付着性状試験および鉄筋コンクリートはりの曲げ試験ならびにせん断試験を実施し、普通エコセメントの鉄筋コンクリート部材（コンクリート製品）への適用性の確認を行ったところ以下のことが明らかになった。

(1) 普通エコセメントを使用したコンクリートと鉄筋の付着性状は、鉄筋が水平状態、垂直状態のいずれの場合においても普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して同程度以上であることが認められた。

(2) 普通エコセメントを用いたコンクリートにより製造した鉄筋コンクリート部材の曲げおよびせん断性状は、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同等であり、従来の設計方法を適用できる。

7　普通エコセメントを用いたコンクリートの試験施工

7.1　はじめに

普通エコセメントを用いたコンクリート（エコセメントコンクリート）の基本性状は、これまでに示した試験結果より、普通ポルトランドセメントを使用した場合とほぼ同等であることが明らかになった。エコセメントコンクリートを実施工に適用していくうえで、コンクリートの強度や耐久性など物理的性質はもとより、実施工でのデータを蓄積し、構造物の適用範囲を把握する必要がある。そこで、普通エコセメントを実構造物に適用し、施工性や強度発現性等について検討を行った。表 7-1 にエコセメントコンクリートを使用して行った施工箇所を示す。写真編　写真 2-1～写真 2-20 には施工状況ならびに供用状況を示す。

表 7-1　エコセメントコンクリートの施工箇所一覧

種類	適用例	呼び強度 (N/mm^2)	施工量	場所	施工年月
レディーミクストコンクリート	園路舗装	21	$24m^3$	東京都三鷹市	2000. 2
	調節池越流堰	21	$110m^3$	東京都練馬区	2000. 5
	消波ブロック　(5t)	21	$200m^3$	千葉県岬町	2002. 1
	重力式擁壁	21	$50m^3$	千葉県君津市	2002. 2
	防潮堤	21	$36m^3$	千葉県鴨川市	2002. 3
	Ｌ型擁壁	24	$72m^3$	東京都八王子市	2002. 4
	逆Ｌ型擁壁	24	$52m^3$	東京都町田市	2002. 4
コンクリート製品	積みブロック	18	－	千葉県市原市	2000. 10
	境界ブロック	26. 5	10m	千葉県市原市	2001. 1
	側溝・蓋		30m		
	Ｌ形側溝	30	216m	東京都北区 東京都世田谷区	2000. 11 2001. 10

7.2　普通エコセメントを用いたレディーミクストコンクリートの試験施工

7.2.1　園路舗装

(1) 施工概要

施工概要を表 7-2 に示す。東京都の井の頭恩賜公園内の園路舗装の一部に適用した。図 7-1 に施工箇所の概略図を示す。

表 7-2　施工概要

施 工 日	平成 12 年 2 月 7 日～8 日
場　　所	井の頭恩賜公園　　東京都三鷹市
発 注 者	東京都
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 21-8-20E*、普通 21-8-20N
施工延長	施工延長　120m エコセメントコンクリート　80m 普通セメントコンクリート　40m 施工幅員　3m 施工厚さ　0.1m
打 設 量	エコセメントコンクリート　24m^3 普通セメントコンクリート　12m^3
天　　候	晴れ
気　　温	10～14℃

＊：E は普通エコセメントを使用したことを示す。

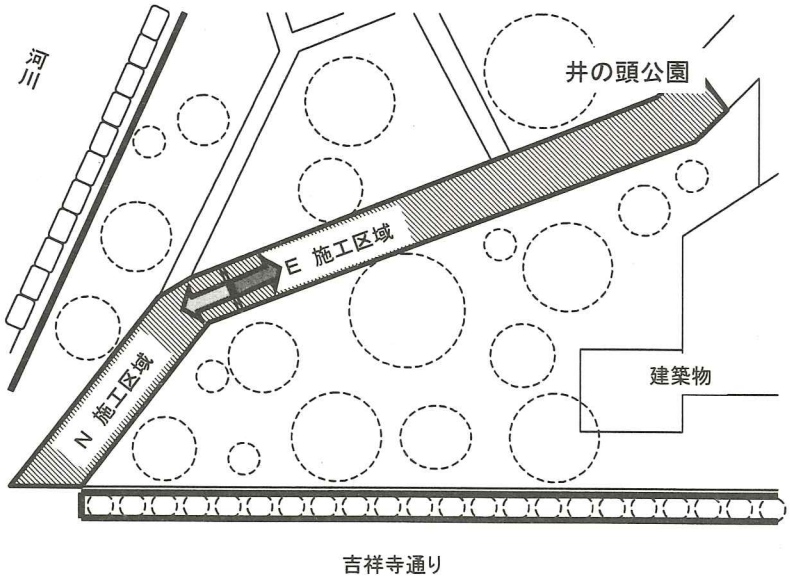


図 7-1　施工箇所概略図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-3 に示す。セメントは普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントの 2 種類を使用した。

表 7-3　使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.18g/cm³) ･･･以下 E 普通ポルトランドセメント (密度：3.16g/cm³) ･･･以下 N
細骨材	東京都青梅産砕砂 (表乾密度：2.65g/cm³) ･･･以下 S1 千葉県佐原産山砂 (表乾密度：2.57g/cm³) ･･･以下 S2 骨材混合比（質量）　S1：S2＝65：35
粗骨材	東京都奥多摩産砕石 2005 (表乾密度:2.66g/cm³) ･･･以下 G
AE 減水剤	ポゾリス No.70 (標準量の 1.5 倍添加) ･･･以下 Ad
AE 助剤	マイクロエア 202

②試験項目および方法

a. スランプおよび空気量

スランプ試験および空気量試験は、工場出荷時、現場荷卸し時およびポンプ圧送の筒先において試料を採取し、それぞれ JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従った。

b. 塩化物イオン量

フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量の測定は、現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法（コンクリート中に試験紙を挿入して目盛の読みを Cl^- 濃度に換算する方法）により行った。

c. 現場作業員への聞き取り調査

エコセメントコンクリートの施工性について、現場作業員に対して聞き取り調査を行った。

d. 圧縮強度、静弾性係数およびポアソン比

圧縮強度試験、静弾性係数試験およびポアソン比の測定は、現場荷卸時に採取し試験材齢まで標準養生を行った供試体を用いて JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」、JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」および ASTM C 469-83「Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression」のそれぞれに従った。また、圧縮強度試験および静弾性係数試験は材齢 3、7、14 および 28 日において、ポアソン比の測定は材齢 7、14 および 28 日において行った。

e. 乾燥収縮

乾燥収縮試験は JIS A 1129-2：2001「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法　第 2 部：コンタクトゲージ法」に従った。

f. 凍結融解

凍結融解試験は JIS A 1148：2001「コンクリートの凍結融解試験方法」に従った。

g. 促進中性化試験

中性化試験は日本建築学会　高耐久鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説「付録 1　コンクリートの促進中性化試験方法」に従って試験を行った。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-4 および表 7-5 にそれぞれ示す。エコセメントコンク

リートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表7-4参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に2σ（σ：標準偏差、2.5N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表7-4　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：21N/mm² 配合強度　　：26N/mm²

表7-5　コンクリートの配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					混和剤
			W	C	S1	S2	G	Ad (C×%)
E	60	45.4	170	283	539	290	1011	0.375
N	64	47.7	162	254	579	312	992	0.375

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表7-6にフレッシュ性状試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時においてすべて目標値を満足した。また、普通エコセメントを使用したフレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は、0.03～0.04 kg/m³であった。

エコセメントコンクリートの施工性に関して現場作業員に対して聞き取り調査を行った。その結果を要約すると以下のとおりである。

a. 普通セメントコンクリートと比較して、こてに粘りつく。
b. 普通セメントコンクリートと比較して、水の揚がり方が少なく、こてをかける回数が増す。
c. ポンプの圧送性は、普通セメントコンクリートと同等である。
d. 普通セメントコンクリートと比較して硬い。
e. 表面仕上げに時間がかかった。水の引きには大差が無い。
f. 表面に水膜ができにくい。仕上がり状態は良好である。

表 7-6　コンクリートのフレッシュ性状

		出荷時				荷卸し時					ポンプ圧送筒先		
ｺﾝｸﾘｰﾄ種類	ﾄﾗｯｸ台数	時刻 (h:m)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	時刻 (h:m)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)
E	1	9:37	13.5	4.8	12.0	10:50	9.0	3.9	13.0	0.034	8.5	3.8	15.0
	2	10:53	11.5	4.7	13.0	11:45	8.5	4.1	13.5	0.034	8.5	4.2	15.5
	3	11:13	12.5	4.3	13.0	12:05	9.0	4.5	13.5	0.035	9.5	3.3	15.5
	4	11:32	13.5	4.7	12.0	12:25	9.0	4.3	14.0	0.035	9.5	4.6	15.5
	5	12:02	14.0	4.7	12.0	12:48	8.5	4.6	14.0	0.035	9.5	4.8	14.5
	6	12:30	12.5	5.0	13.0	13:16	9.5	4.8	15.0	0.037	8.5	4.6	15.0
	AVE	—	12.9	4.7	12.5	—	8.9	4.4	13.8	0.035	9.0	4.2	15.2
N	1	9:25	13.0	5.5	13.5	9:55	9.5	4.8	13.5	0.030	11.0	5.4	13.5
	2	9:45	12.5	6.0	13.0	10:25	8.5	5.0	13.5	0.029	8.5	5.4	14.0
	3	10:40	12.0	4.5	13.5	11:10	9.0	3.0	13.0	0.025	9.0	3.0	14.0
	AVE	—	12.5	5.3	13.3	—	9.0	4.3	13.3	0.028	9.5	4.6	13.8

②強度性状

図 7-2 および図 7-3 に材齢と圧縮強度および圧縮強度と静弾性係数の関係をそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの材齢 28 日における圧縮強度は、設計基準強度を満足し、圧縮強度と静弾性係数の関係は、普通セメントコンクリートと同等であった。表 7-7 にポアソン比の測定結果を示す。エコセメントコンクリートのポアソン比は、普通セメントコンクリートと同等であり、一般のコンクリートでの値（1/5～1/7）の範囲であることが認められた。

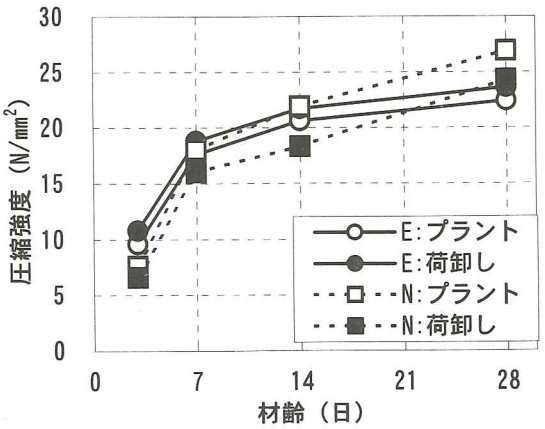


図 7-2　材齢と圧縮強度の関係

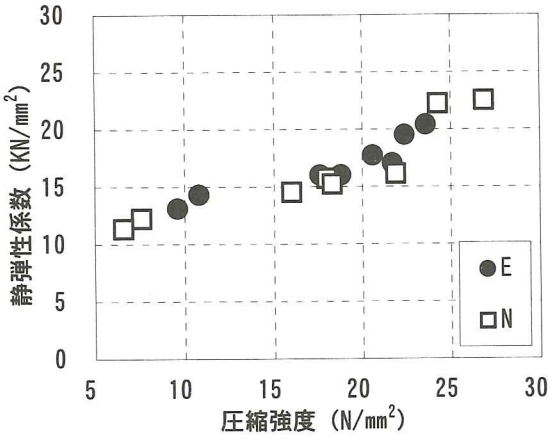


図 7-3　圧縮強度と静弾性係数の関係

表 7-7　ポアソン比

セメント / 材齢(日)	E		N	
	プラント	荷卸し	プラント	荷卸し
7	0.17	0.18	0.17	0.17
14	0.20	0.19	0.19	0.17
28	0.20	0.22	0.19	0.19

③耐久性

a. 乾燥収縮

図 7-4 に長さ変化率を、図 7-5 に乾燥による質量変化率を示す。エコセメントコンクリートは普通セメントコンクリートよりも質量の減少がやや大きいが、長さ変化率は、エコセメントコンクリートの方が普通セメントコンクリートよりも小さくなる傾向が認められた。

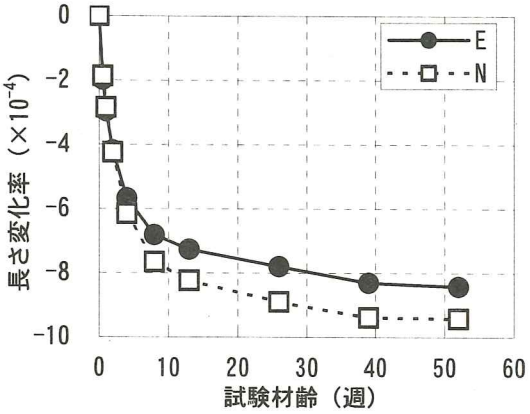


図 7-4　材齢と長さ変化率の関係

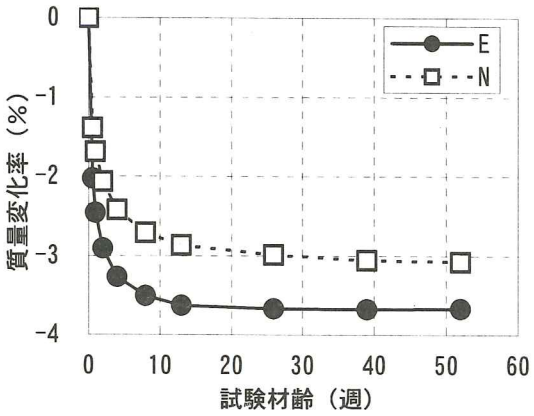


図 7-5　材齢と質量変化率の関係

b. 凍結融解

相対動弾性係数の変化を図 7-6 に、凍結融解による質量変化を図 7-7 に示す。エコセメントコンクリートの相対動弾性係数は普通セメントコンクリートと同様に 300 サイクル終了後もほぼ 100%であり、充分な凍結融解抵抗性を有することが確認された。質量変化率に関しては、エコセメントコンクリートの方が普通セメントコンクリートより若干大きくなった。

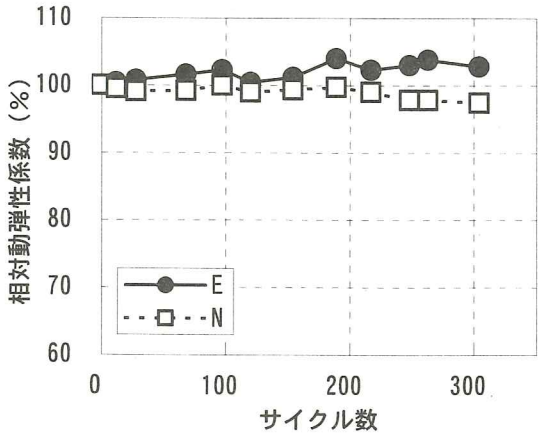


図 7-6　相対動弾性係数

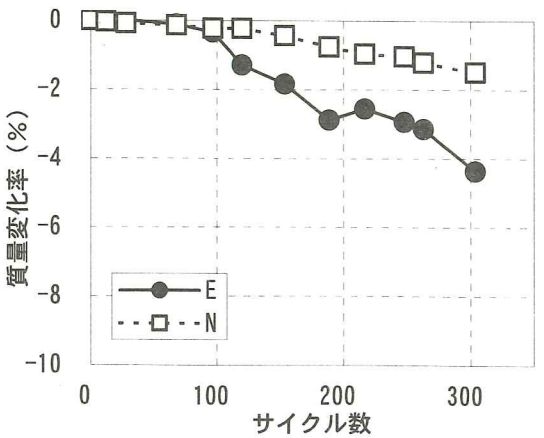


図 7-7　質量変化率

c. 促進中性化

図 7-8 に促進中性化試験結果を示す。本試験においてはエコセメントコンクリートと普通セメントコンクリートの設計基準強度は同等であるものの、エコセメントコンクリートの中性化深さは、促進材齢 26 週において若干普通セメントコンクリートを上回った。

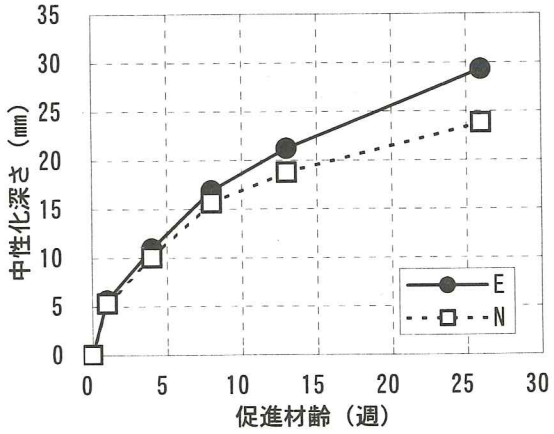


図 7-8　促進中性化試験結果

7.2.2 調節池越流堰（マスコンクリート）

(1) 施工概要

施工概要を表 7-8 に示す。東京都内の白子川比丘尼橋下流調節池の越流堰の一部に適用した。越流堰は全長 109m、最大断面厚さが約 4m のマスコンクリートであった。このため、温度ひび割れ発生の抑制を目的として事前に温度応力解析を行い、温度ひび割れ指数が 0.7 以下となるよう、打設長およびリフト高さを決定した。施工を行った構造物の断面図を図 7-9 に平面図を図 7-10 に示す。

表 7-8 施工概要

施 工 日	平成 12 年 5 月～平成 12 年 6 月
場　　所	比丘尼橋下流調節池　　東京都
発 注 者	東京都
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 21-8-20E*、普通 21-8-20B
施工対象	図 7-9 参照　　最大断面厚さ 4m
打 設 量	エコセメントコンクリート　110m³

＊：E は普通エコセメントを使用したことを示す。

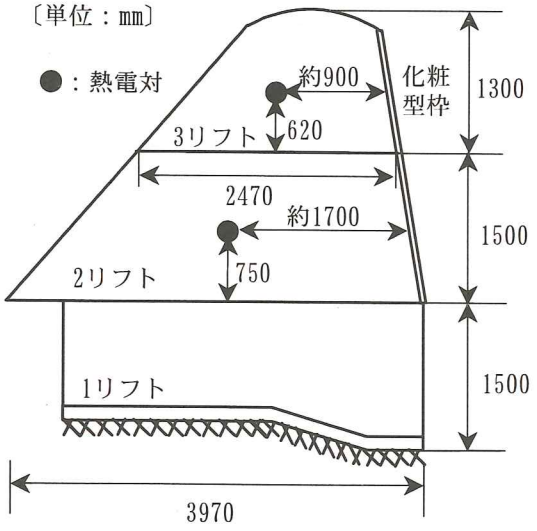


図 7-9　越流堰断面図

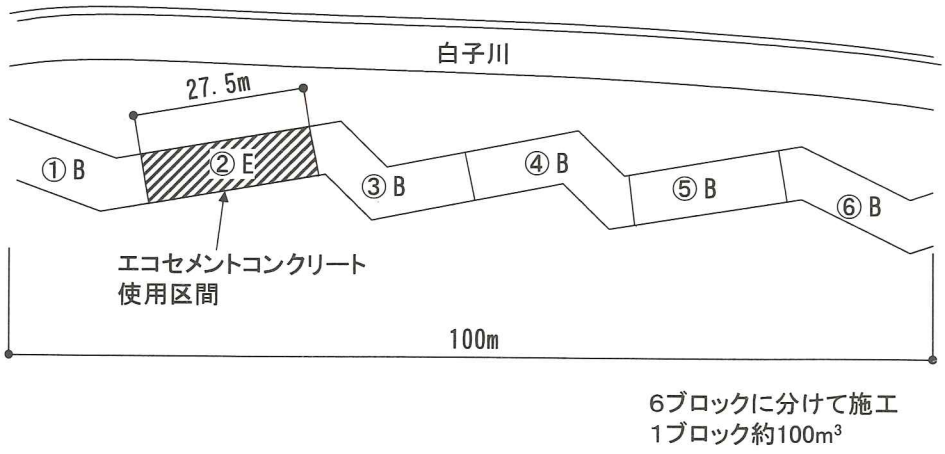


図 7-10　越流堰平面図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-9 に示す。セメントは普通エコセメントおよび高炉セメント B 種の 2 種類を使用した。

表 7-9　使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.18g/cm³) ･･･以下 E 高炉セメント B 種 (密度：3.05g/cm³) ･･･以下 B
細骨材	栃木県葛生町産粗目砂 (表乾密度：2.65g/cm³) ･･･以下 S1 千葉県市原市産細目砂 (表乾密度：2.57g/cm³) ･･･以下 S2 骨材混合比　(質量)　S1：S2＝65：35 で混合
粗骨材	埼玉県横瀬町産砕石 2005 (表乾密度:2.70g/cm³) ･･･以下 G
AE 減水剤	プラストクリート NC (日本シーカ) ･･･以下 Ad

②試験項目および方法

a. スランプおよび空気量

スランプ試験および空気量試験は、それぞれ JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法)」に従い、工場出荷時および現場荷卸し時に測定した。

b. 塩化物イオン量

フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量の測定は、現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法により行った。

c. 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度試験および静弾性係数試験は、練上がり直後および現場荷卸時に採取した供試体を用いて、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」および JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に従った。また、試験材齢は 3、7、14 および 28 日とした。

d. 引張強度

引張強度試験は JIS A 1113：1999「コンクリートの割裂引張試験方法」に従った。現場荷卸時に採取した供試体を用いて、所定の材齢まで標準養生を行った後に実施した。また、試験材齢は 7 日および 28 日とした。

e. コンクリート部材温度

T 型熱電対を用いて 2 および 3 リフト目の中心温度を測定した（図 7-9 参照)。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-10 および表 7-11 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度が得られるよう試験練りにより決定

した。なお、本試験では設計基準強度に 2σ（σ：標準偏差、2.5N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表 7-10　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：21N/mm² 配合強度　　：26N/mm²

表 7-11　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					混和剤
			W	C	S1	S2	G	Ad (C×%)
E	63	43.1	170	270	513	276	1077	0.60
B	61	46.5	159	261	560	301	1026	0.60

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-12 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時においてすべて目標値を満足した。また、エコセメントコンクリート中の塩化物イオン量測定値は 0.04～0.05 kg/m³ であった。

表 7-12　フレッシュ性状

			出荷時				荷卸し時				
ｺﾝｸﾘｰﾄ種類	リフト	ﾄﾗｯｸ台数	時刻 (h:m)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	時刻 (h:m)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)
E	1	1	9:30	12.0	5.1	23.0	10:00	9.5	4.4	25.0	0.04
		2	9:50	14.0	4.7	23.0	10:14	9.5	4.4	25.0	0.04
		3	10:17	12.0	4.9	23.0	10:35	9.5	4.4	25.0	0.04
		4	10:21	13.5	4.6	23.0	10:42	9.0	4.5	25.0	0.05
	2	1	9:43	14.0	4.1	24.0	10:05	9.0	4.2	26.0	0.04
		3	9:57	11.0	4.1	24.0	10:15	9.0	3.9	26.0	0.04
		5	10:30	14.0	5.0	24.0	10:50	8.5	4.5	26.5	0.04
		7	10:39	12.5	4.5	24.0	10:58	8.5	4.1	26.0	0.04
		9	11:05	13.5	4.2	24.0	11:26	8.5	4.2	26.5	0.04
	3	1	9:40	13.5	4.1	28.5	9:57	9.5	4.6	29.5	0.04
		3	10:29	11.5	4.3	28.5	10:54	8.0	4.1	29.5	0.04
B	2	1	9:17	11.5	6.0	22.0	9:26	9.0	4.9	24.5	0.02
		3	9:19	12.5	5.5	22.0	9:27	10.0	5.1	25.0	0.02
		7	9:55	11.0	5.2	22.0	10:05	9.0	5.0	25.0	0.02
		9	10:04	12.0	4.9	22.0	10:18	9.5	4.5	25.0	0.02
	3	1	9:50	11.5	5.0	24.0	10:06	8.0	4.0	25.0	0.02
		4	10:25	12.5	5.1	24.0	10:41	9.5	4.6	25.5	0.02

②強度性状

図 7-11 および図 7-12 に材齢と圧縮強度および圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。材齢 28 日の圧縮強度は、いずれのリフトにおいても設計基準強度を満足した。また、エコセメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、高炉セメント B 種を使用したコンクリートと同等であった。

図 7-13 に圧縮強度と引張強度の関係を示す。エコセメントコンクリートの圧縮強度と引張強度の関係は、高炉セメント B 種を使用したコンクリートと同等であった。

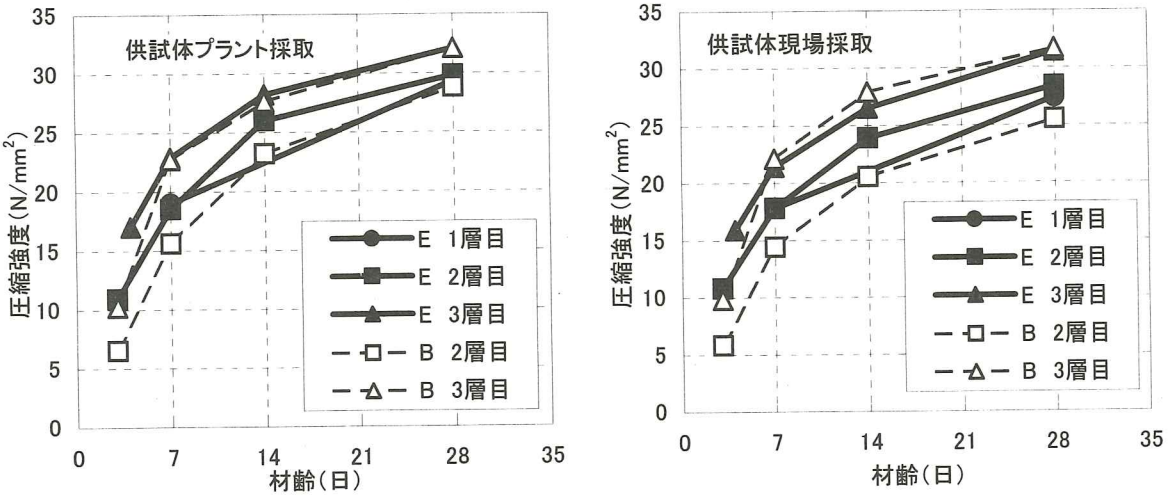


図 7-11　材齢と圧縮強度の関係

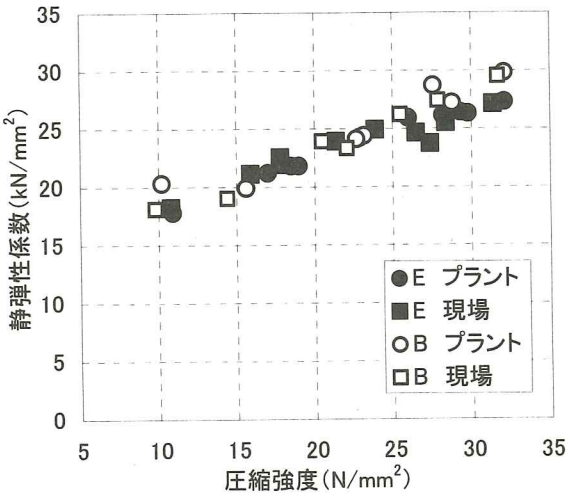


図 7-12　圧縮強度と静弾性係数の関係

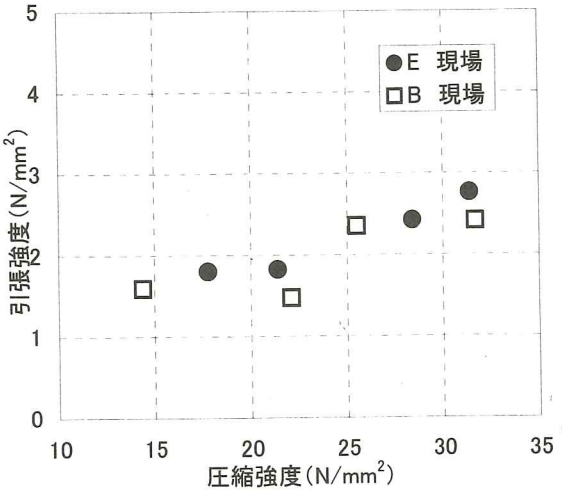


図 7-13　圧縮強度と引張強度の関係

③発熱性状

表 7-13 に各リフトの最高温度上昇量とその到達時間を、図 7-14 に材齢とコンクリート温度の関係を示す。各リフトの打設時温度は若干異なるが、エコセメントコンクリートの温度上昇速度は、3 章で示した断熱温度上昇量の測定結果と同様に高炉セメント B 種を使用した場合よりも速くなる傾向が認められた。また、温度上昇量はエコセメントコンクリートの方が高炉セメント B 種よりも 4～5℃程度大きくなった。これは、エコセメントコンクリートの方が単位セメント量が約 10kg/m³ 多かったことや、打設時の気温がエコセメントコンクリートの方が高かったこと等の影響によると考えられる。

表 7-13　最高上昇温度と到達時間

ｾﾒﾝﾄ種類	リフト	計測開始時のｺﾝｸﾘｰﾄ温度	温度上昇量 (℃)	到達時間 (時間)
E	2	25.6	34.8	42
	3	29.0	32.5	33
B	2	25.0	29.9	56
	3	25.0	28.9	42

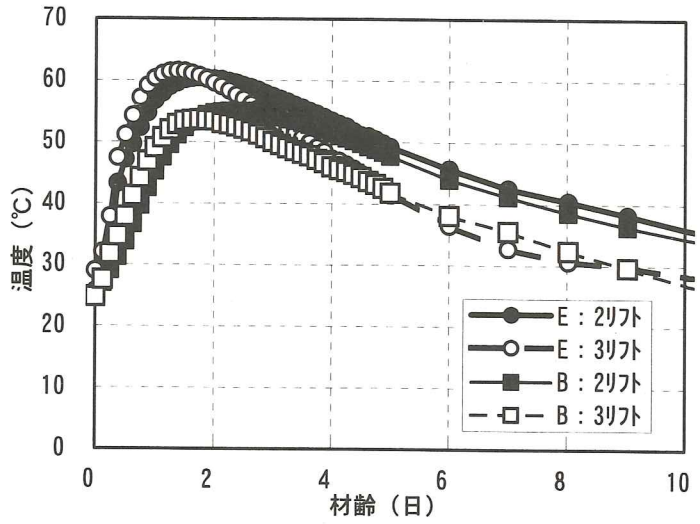


図 7-14　温度上昇曲線

7.2.3 消波ブロック

(1) 施工概要

施工概要を表 7-14 に示す。千葉県における海岸整備工事の一環として消波ブロックの製造を行ったものである。

表 7-14 施工概要

施 工 日	平成 13 年 12 月～平成 14 年 2 月
場　　所	千葉県夷隅郡
発 注 者	千葉県
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 21-8-20E*、普通 21-8-25N
施工対象	消波ブロック (5t)
製 造 量	エコセメントコンクリート：110 個 普通セメントコンクリート： 11 個

＊：E は普通エコセメントを使用したことを示す。

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-15 に示す。

表 7-15 使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.17g/cm³) ･･･以下 E 普通ポルトランドセメント (密度：3.16g/cm³) ･･･以下 N
細骨材	千葉県君津産陸砂 (表乾密度：2.58g/cm³) ･･･以下 S
粗骨材	北海道上磯郡峩朗産石灰砕石 2005 (N では 2505) (表乾密度:2.70g/cm³) ･･･以下 G
AE 減水剤	ポゾリス　No.70 (エヌエムビー) ･･･以下 Ad

②試験項目および方法

a. スランプおよび空気量

工場出荷時および現場荷卸時において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 (空気室圧力方法)」に従いスランプおよび空気量を測定した。

b. 塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c. 圧縮強度

練上がり直後および現場荷卸時において供試体を採取し、材齢 7 および 28 日まで標準養生を行ったのちに JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従って圧縮強度試験を実施した。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-16 および表 7-17 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-16 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に 2.5σ（σ：標準偏差、1.73N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表 7-16　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：21N/mm² 配合強度　　：25.3N/mm²

表 7-17　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤
			W	C	S	G	Ad (C×%)
E	56.8	42.2	168	296	756	1083	0.25
N	61.4	45.5	153	250	849	1048	0.25

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-18 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時においてすべて目標値を満足した。エコセメントを使用したフレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は 0.06 kg/m³ であった。また、目視による観察では、エコセメントコンクリートは若干粘性が高い傾向が認められたものの、施工に影響を及ぼすことはなく、施工性は良好であった。

表 7-18　コンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	試料採取場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)
E	プラント	12.0	4.9	13.0	−
	荷卸し	8.0	4.6	12.0	0.06
N	荷卸し	9.5	4.1	10.0	0.01

②強度性状

図 7-15 に材齢と圧縮強度の関係を示す。エコセメントコンクリートの材齢 28 日における圧縮強度は、設計基準強度を満足した。

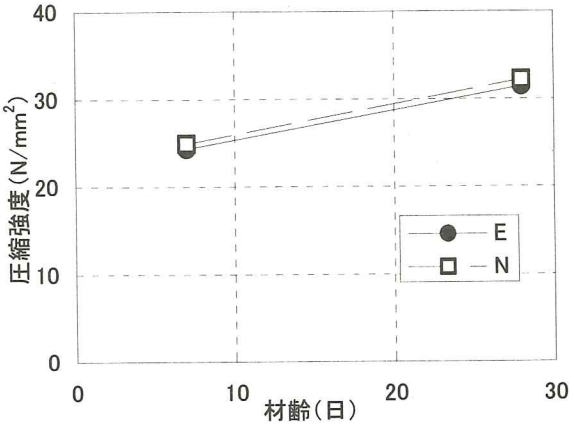


図 7-15　材齢と圧縮強度の関係

7.2.4　重力式擁壁

(1) 施工概要

施工概要を表 7-19 に示す。千葉県木更津市内において道路切土法面の保護のため重力式擁壁の築造を行ったものである。コンクリートの打設量は 36㎥ であった。施工を行った構造物の正面図および断面図をそれぞれ図 7-16 および図 7-17 に示す。

表 7-19 施工概要

施 工 日	平成 14 年 2 月 4 日
場　　所	千葉県木更津市
発 注 者	千葉県
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 18-8-20E*
施工対象	重力式擁壁
打設量	エコセメントコンクリート　36㎥

＊：E は普通エコセメントを使用したことを示す。

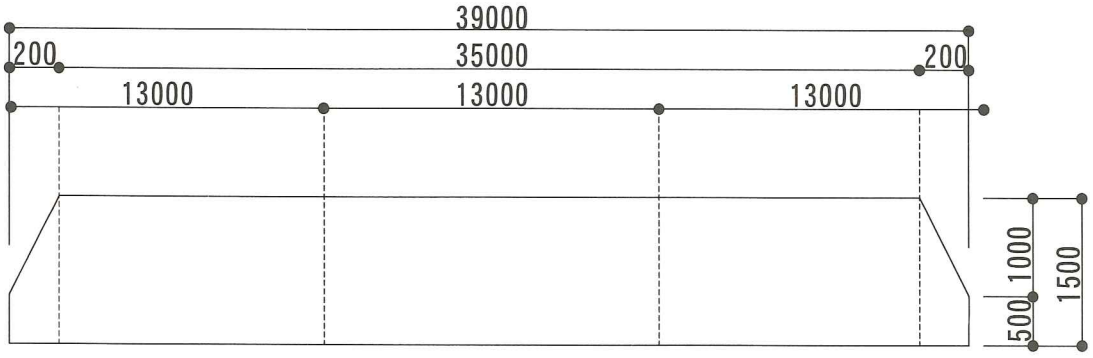


図 7-16　重力式擁壁正面図

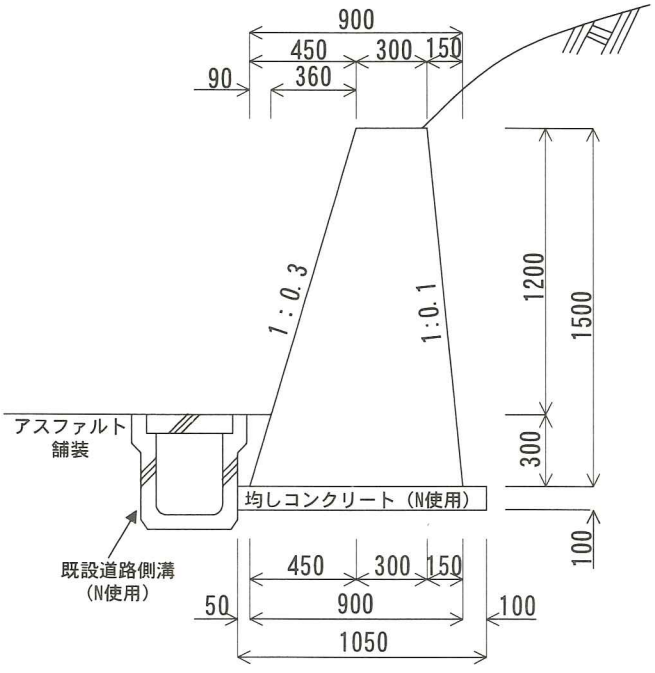


図 7-17　重力式擁壁断面図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-20 に示す。

表 7-20　使用材料

セメント	普通エコセメント(密度：3.17g/cm³)・・・以下 E
細骨材	千葉県富津市高溝産山砂（表乾密度：2.60g/cm³）・・・以下 S
粗骨材	北海道上磯郡上磯産砕石（表乾密度：2.70g/cm³）・・・以下 G
AE 減水剤	ポゾリス　No.70(エヌエムビー)・・・以下 Ad

②試験項目および方法

a．スランプおよび空気量

工場出荷時および現場荷卸時において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法)」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b．塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c．圧縮強度

練上がり直後および現場荷卸時に採取した供試体を用いて、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い圧縮強度を測定した。また、現場荷卸時に採取した供試体については、標準養生のほかに 20℃封かん養生および現場封かん養生も実施した。試験材齢は 7、28 および 91 日とした。

d．静弾性係数

標準養生、20℃封かん養生および現場封かん養生の供試体を用い、JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に従い静弾性係数を測定した。試験材齢は 28 日とした。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-21 および表 7-22 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-21 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に 2σ（σ：標準偏差、2.5N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表 7-21　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：18N/mm² 配合強度　　：23N/mm²

表 7-22　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤
			W	C	S	G	Ad (C×%)
E	64.0	44.0	166	259	809	1069	0.25

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-23 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時においてすべて目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は 0.05 kg/m³ であった。また、目視による観察では、エコセメントコンクリートは若干粘性が高い傾向が認められたものの、施工に影響を及ぼすことはなく、施工性は良好であった。

表 7-23　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	試験場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)
E	プラント	15.0	5.3	10.5	－
	荷卸し	9.5	4.8	11.0	0.05

②圧縮強度

図 7-18 に材齢と圧縮強度の関係を示す。冬期の施工で外気温が低く、現場封かん養生の圧縮強度は他より低かった。しかし、いずれの養生方法の場合においても材齢 28 日における圧縮強度は、設計基準強度を満足した。

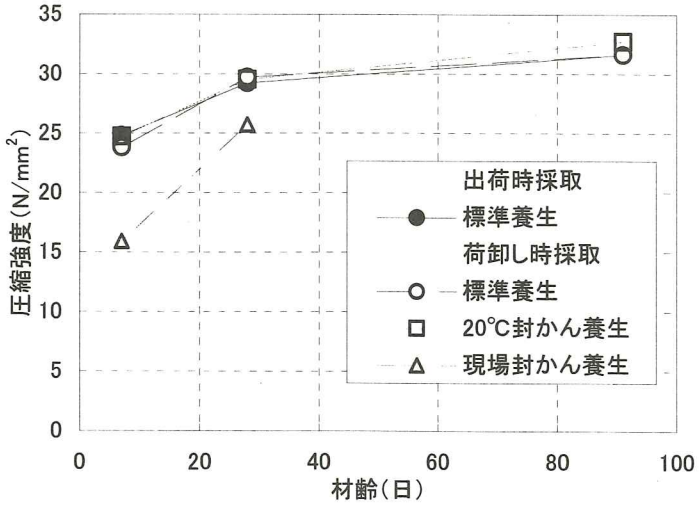


図 7-18　材齢と圧縮強度の関係

③静弾性係数

静弾性係数試験結果を図 7-19 に示す。エコセメントコンクリートの材齢 28 日における静弾性係数は、養生条件によらずほぼ同程度であり、いずれも 30kN/mm^2 程度の値となった。

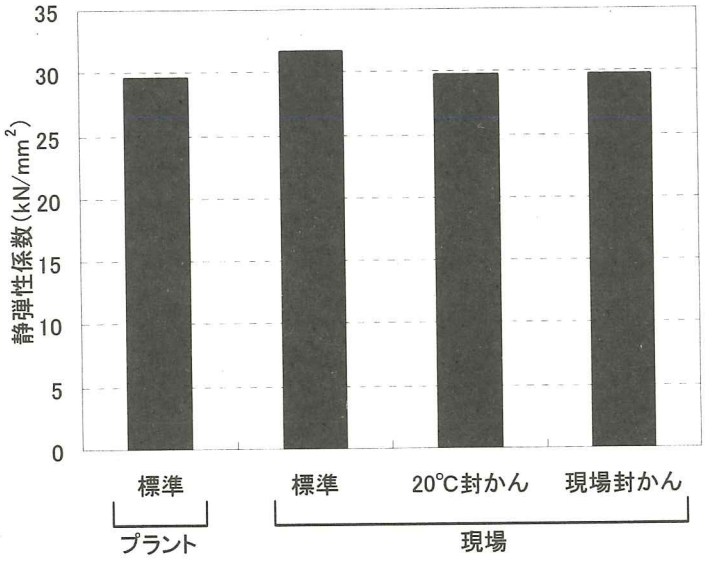


図 7-19　静弾性係数測定結果

7.2.5　防潮堤かさ上げ工事

(1) 施工概要

施工概要を表 7-24 に示す。千葉県鴨川市の防潮堤において 80cm 程度のかさ上げを行ったものである。コンクリートの打設量は 25m³ であり、完成後の防潮提の寸法は長さ約 35m、高さ約 1.5m、厚さ約 0.5mであった。防潮提かさ上げ部分の断面積を図 7-20 に示す。

表 7-24 施工概要

施 工 日	平成 14 年 3 月 26 日
場　　所	千葉県鴨川市
発 注 者	千葉県
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 21-8-25E*
施工対象	防潮堤（かさ上げ）
打設量	エコセメントコンクリート　25m³

＊：E は普通エコセメントを使用したことを示す。

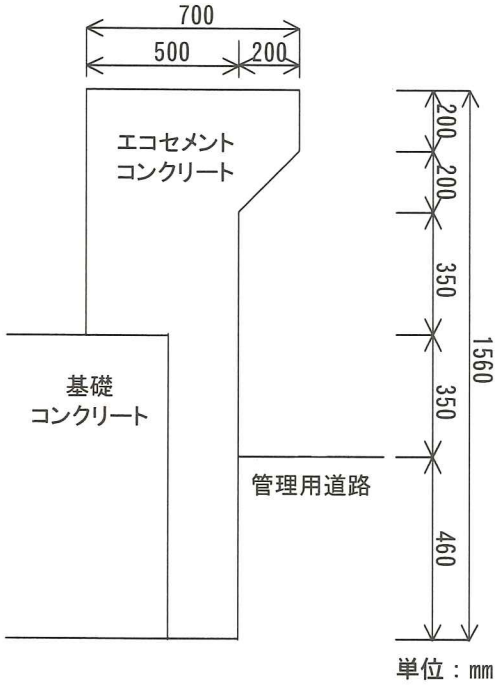


図 7-20　防潮堤かさ上げ部分断面図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-25 に示す。

表 7-25　使用材料

セメント	普通エコセメント(密度：3.17g/cm³)･･･以下 E
細骨材	千葉県市原市本郷産山砂（表乾密度：2.60g/cm³）･･･以下 S
粗骨材	福島県双葉郡産山砂利（表乾密度：2.60g/cm³）･･･以下 G
AE 減水剤	ポゾリス　No.78S(エヌエムビー)･･･以下 Ad

②試験項目および方法

a．スランプおよび空気量

工場出荷時および現場荷卸時において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」およびJIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b．塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c．圧縮強度

練上がり直後および現場荷卸時に採取した供試体を用いて、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い圧縮強度を測定した。また、供試体の養生方法は標準養生とし、試験材齢は7日および28日とした。

d．静弾性係数

静弾性係数試験はJIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に従い、材齢28日まで標準養生した供試体を用いて実施した。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表7-26および表7-27にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-26 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に 2σ（σ：標準偏差、2.5N/mm^2）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表7-26　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：21N/mm^2 配合強度　　：26N/mm^2

表7-27　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤
			W	C	S	G	Ad (C×%)
E	56.8	42.2	168	296	761	1042	1.00

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-28 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時においていずれも目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は0.04 kg/m^{3}であった。また、目視による観察では、エコセメントコンク

リートは若干粘性が高い傾向が認められたものの、施工に影響を及ぼすことはなく、施工性は良好であった。

表 7-28　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	試験場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)
E	プラント	15.5	3.9	14.0	－
	荷卸し	10.0	3.7	16.0	0.04

②圧縮強度

図 7-21 に材齢と圧縮強度の関係を示す。供試体をコンクリートの出荷時に採取した場合および現場荷卸時に採取した場合のいずれの場合においても、材齢 28 日における圧縮強度は設計基準強度を満足した。

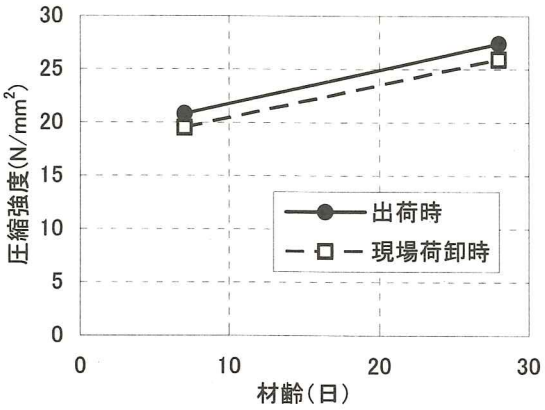


図 7-21　材齢と圧縮強度の関係

③静弾性係数

静弾性係数試験結果を図 7-22 に示す。エコセメントコンクリートの材齢 28 日における静弾性係数は、供試体の採取場所に関らずほぼ同程度であり、いずれも 25kN/mm² 程度の値となった。

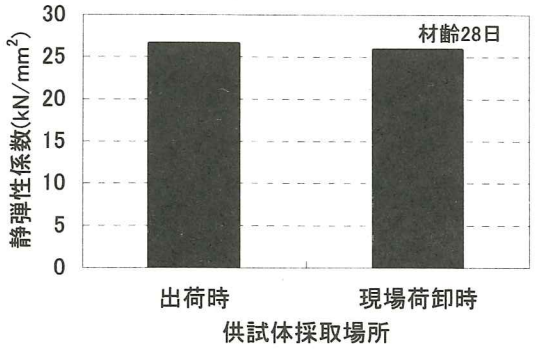


図 7-22　静弾性係数測定結果

7.2.6　L型擁壁

(1) 施工概要

施工概要を表 7-29 に示す。東京都八王子市内の河川改修工事における鉄筋コンクリートL型擁壁に適用したものである。エコセメントコンクリートの施工延長は 20m、打設量は 72m³ であった。擁壁の正面図を図 7-23 に断面図を図 7-24 に示す。

表 7-29　施工概要

施 工 日	平成 14 年 4 月
場　　所	東京都八王子市
発 注 者	東京都
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 24-8-20E*、普通 24-8-20B
施工対象	L型擁壁
打設量	エコセメントコンクリート　72m³（施工延長：20m）

＊：Eは普通エコセメントを使用したことを示す。

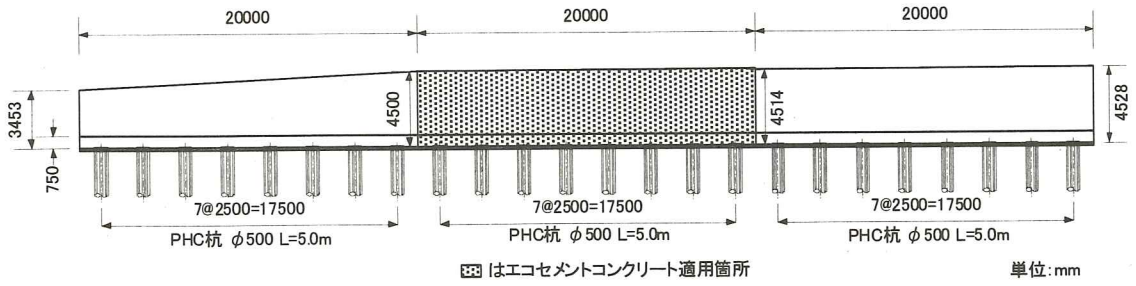


図 7-23　L型擁壁正面図

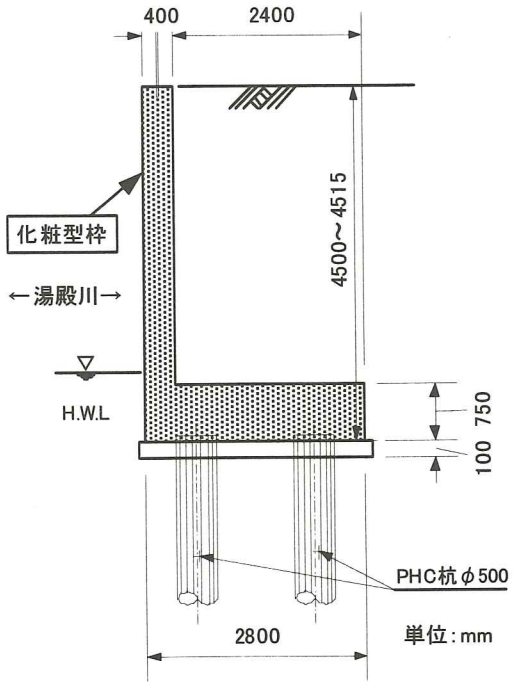


図 7-24　L型擁壁断面図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-30 に示す。

表 7-30　使用材料

セメント	普通エコセメント(密度：3.17g/cm³)・・・以下 E 高炉セメントＢ種(密度：3.04g/cm³)・・・以下 B
細骨材	東京都八王子市美山町産砕砂（表乾密度：2.64g/cm³）・・・以下 S1 千葉県香取郡栗源町産山砂（表乾密度：2.55g/cm³）・・・以下 S2 骨材混合比（容積）　S1:S2＝70：30
粗骨材	東京都八王子市美山町産砕石（表乾密度：2.64g/cm³）・・・以下 G
AE 減水剤	フローリック S(フローリック社製)・・・以下 Ad

②試験項目および方法

ａ．スランプおよび空気量

工場出荷時および現場荷卸時において JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

ｂ．塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

ｃ．圧縮強度

練上がり直後および現場荷卸時に採取した供試体を用いて、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い圧縮強度を測定した。試験材齢は 7、28、91 日、6 ヶ月および 1 年とした。

ｄ．乾燥収縮

乾燥収縮試験は、JIS A 1129-2「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法　第 2 部：コンタクトゲージ法」に準拠して実施した。基長の測定は、JIS A 1129 と同様に材齢 7 日を基長とした場合および施工構造物の脱型材齢を基長とした場合の 2 水準において実施した。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-31 および表 7-32 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-31 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に 2.5σ（σ：標準偏差、2.5N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表 7-31　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：24N/mm^2 配合強度　　：30.3N/mm^2

表 7-32　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					混和剤
			W	C	S1	S2	G	Ad (C×%)
E	51.5	45.5	169	328	575	238	982	1.00
B	51.5	45.9	160	311	288	243	990	1.00

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-33 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、現場荷卸し時において目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は 0.04～0.05 kg/m^3 であった。また、目視による観察では、エコセメントコンクリートは若干粘性が高い傾向が認められたものの、施工に影響を及ぼすことはなく、施工性は良好であった。

表 7-33　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	ﾄﾗｯｸ台数	試験場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m^3)
E	3 台目	プラント	10.5	5.5	19.0	－
		荷卸し	9.0	4.6	20.0	0.04
	6 台目	プラント	11.5	5.5	20.0	－
		荷卸し	8.0	4.5	21.0	0.05
B	1 台目	プラント	12.5	5.2	20.0	0.02
		荷卸し	9.5	5.0	20.0	－

②圧縮強度

図 7-25 に圧縮強度試験結果を示す。エコセメントコンクリートの圧縮強度は材齢 28 日において設計基準強度を満足し、高炉セメント B 種を使用した場合と同等であった。しかし、材齢 28 日以降のエコセメントコンクリートの強度の増進は高炉セメント B 種よりも小さく、材齢 91 日におけるエコセメントコンクリートの圧縮強度は高炉セメント B 種を使用した場合を下回った。

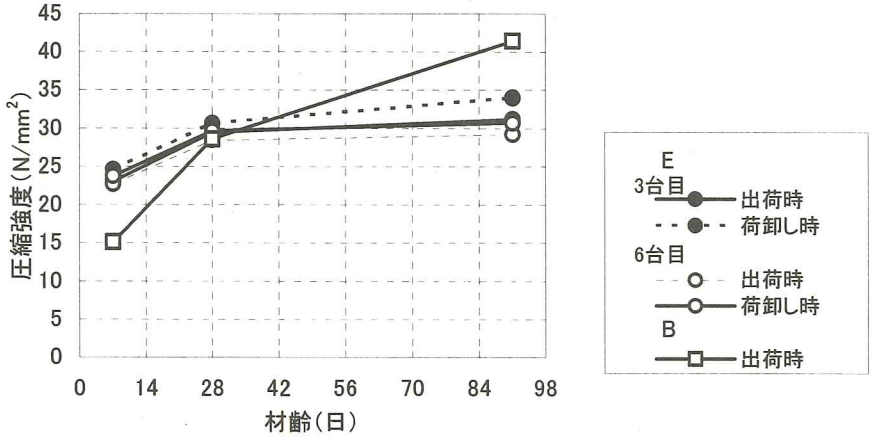


図 7-25　材齢と圧縮強度の関係

③乾燥収縮

図 7-26 および図 7-27 に乾燥収縮試験結果を示す。材齢 13 週におけるエコセメントコンクリートの質量変化率および長さ変化率は、材齢 7 日を基長とした場合および脱型時を基長とした場合ともに、高炉セメント B 種を使用した場合と同等かやや小さい傾向が認められた。

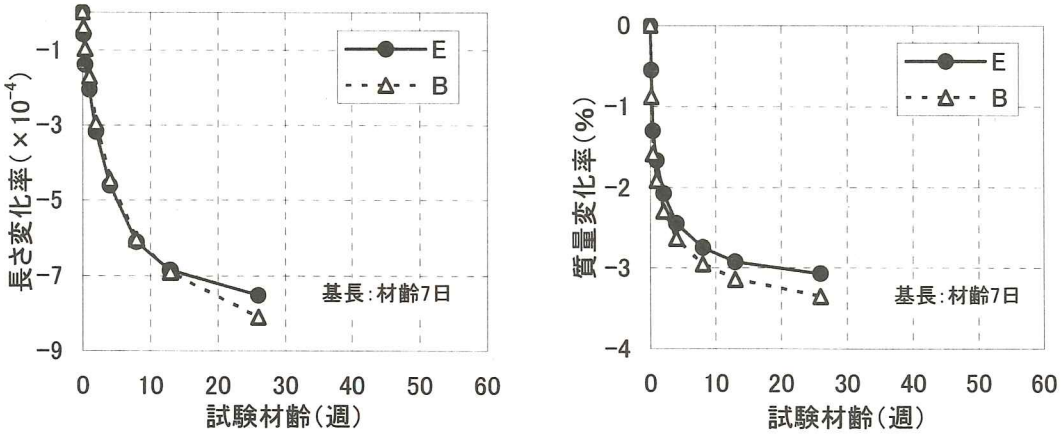


図 7-26　乾燥収縮試験結果（基長：材齢 7 日）

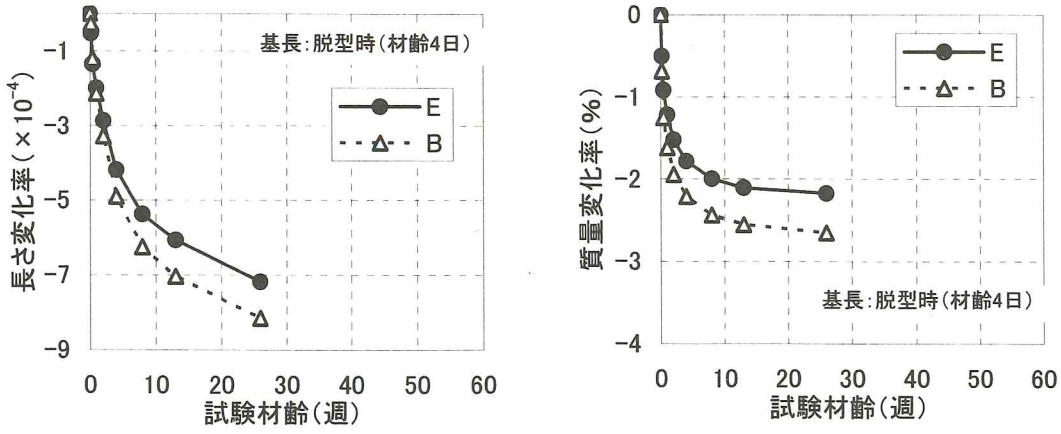


図 7-27　乾燥収縮試験結果（基長：脱型時　材齢 4 日）

7.2.7　逆Ｌ型擁壁

(1) 施工概要

施工概要を表 7-34 に示す。東京都町田市内の道路切土法面の保護に逆Ｌ型擁壁を築造したものである。エコセメントコンクリートの施工延長は 7m、打設量は 52m³ であった。擁壁の正面図を図 7-28 に断面図を図 7-29 に示す。

表 7-34 施工概要

施 工 日	平成 14 年 4 月
場　　所	東京都町田市
発 注 者	東京都
ｺﾝｸﾘｰﾄ名称	普通 24-8-20E*
施工対象	逆Ｌ型擁壁
打設量	エコセメントコンクリート　52m³（施工延長：7m）

＊：Ｅは普通エコセメントを使用したことを示す。

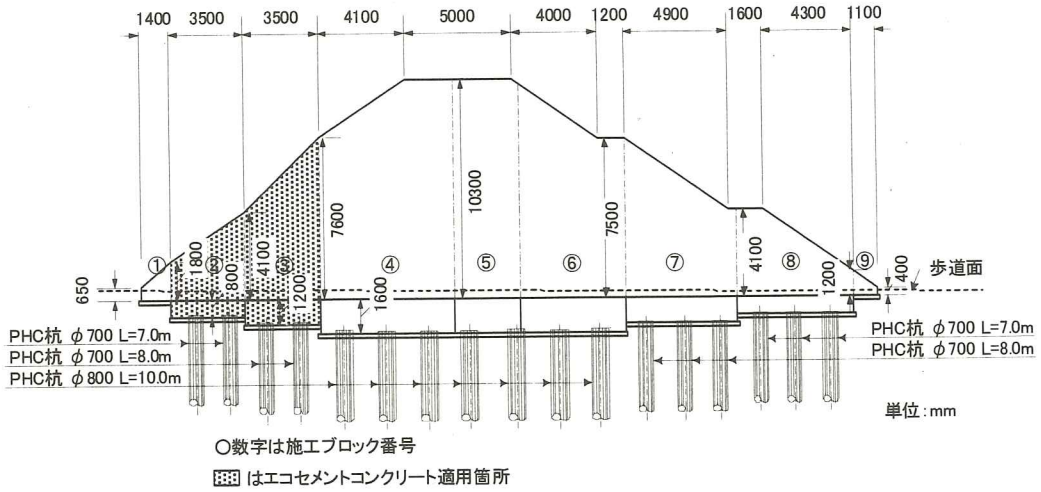


図 7-28　逆Ｌ型擁壁正面図

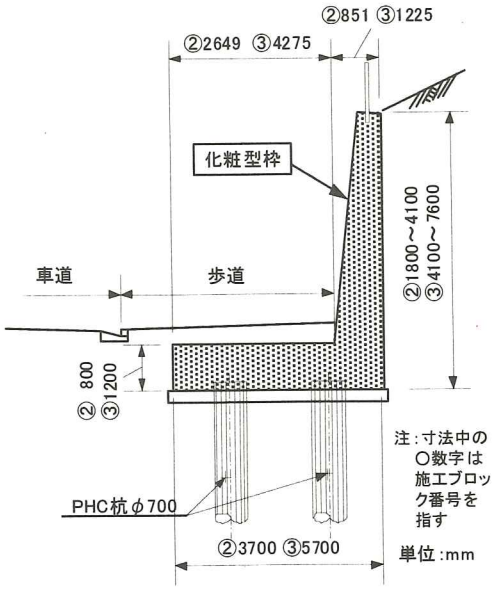


図 7-29　逆Ｌ型擁壁断面図

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-35 に示す。

表 7-35　使用材料

セメント	普通エコセメント(密度：3.17g/cm³)・・・以下 E
細骨材	千葉県市原市産山砂（表乾密度：2.57g/cm³）・・・以下 S1 東京都青梅市産砕砂（表乾密度：2.62g/cm³）・・・以下 S2 埼玉県秩父市武甲産砕砂（表乾密度：2.64g/cm³）・・・以下 S3 骨材混合比（質量）　S1:S2:S3＝30：35：35
粗骨材	東京都青梅市産砕石 2005（表乾密度：2.64g/cm³）・・・以下 G1 埼玉県秩父市武甲産砕石 2005（表乾密度：2.70g/cm³）・・・以下 G2 骨材混合比（質量）　G1:G2＝60：40
AE 減水剤	ポゾリス No.70(エヌエムビー社製)・・・以下 Ad

②試験項目および方法

a．スランプおよび空気量

工場出荷時および現場荷卸時において JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b．塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c．圧縮強度

圧縮強度試験は、練上がり直後および現場荷卸時に採取した供試体を用いて、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い実施した。試験材齢は 7 日および 28 日とした。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-36 および表 7-37 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-36 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。なお、本試験では設計基準強度に 2σ（σ：標準偏差、2.5N/mm²）を加えた値を配合強度とし、水セメント比を決定した。

表 7-36　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	現場到着時：8±2.5cm
空気量	JIS A 1128	現場到着時：4.5±1.5%
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度：24N/mm² 配合強度　　：29N/mm²

表 7-37　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					混和剤
			W	C	S1	S2	G	Ad (C×%)
E	55.8	46.6	166	297	508	338	990	0.375

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表 7-38 に示す。エコセメントコンクリートの現場荷卸し時におけるフレッシュ性状は、すべての項目において目標値を満足した。また、エコセメントコンクリートの施工は良好に行われた。

表 7-38　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	試験場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m³)
E	プラント	13.0	5.2	17.0	－
	荷卸し	9.5	4.9	17.0	0.05

②圧縮強度

材齢と圧縮強度の関係を図 7-30 に示す。材齢 28 日における圧縮強度は、設計基準強度を満足した。

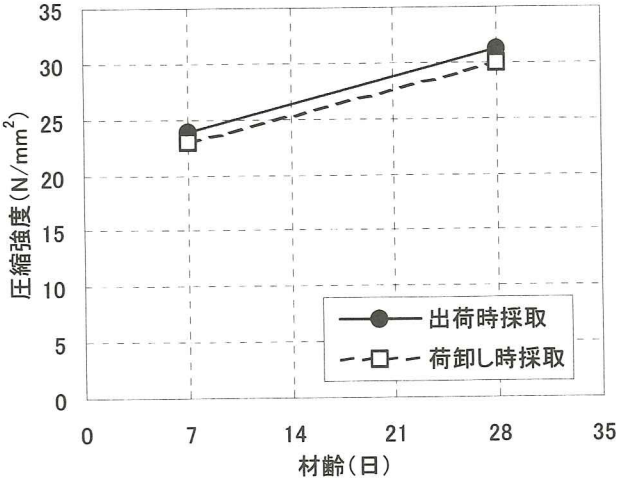


図 7-30　材齢と圧縮強度の関係

③静弾性係数

静弾性係数試験結果を図 7-31 に示す。エコセメントコンクリートの静弾性係数は、25kN/mm² 程度の値となった。

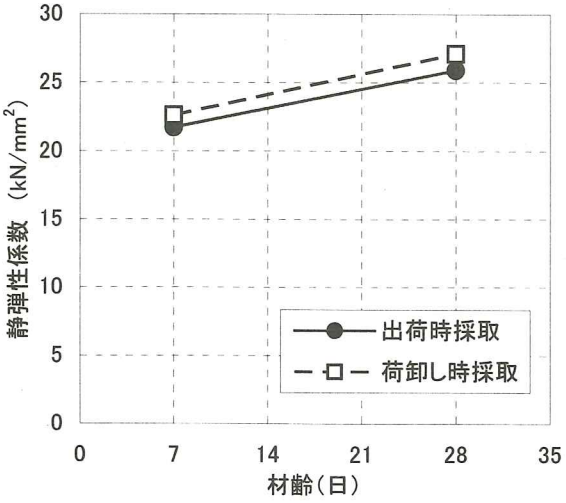


図 7-31　材齢と静弾性係数の関係

7.3 普通エコセメントを使用した工場製品の試験施工

7.3.1 積みブロック

(1) 施工概要

施工概要を表 7-39 に示す。

表 7-39 施工概要

施 工 日	平成 12 年 10 月 24 日～平成 13 年 1 月 31 日
場　　所	千葉県市原市
発 注 者	千葉県
工 事 名	県単排水・道路整備合併工事
施 工 量	エコセメントコンクリート　5m^2
養生方法	蒸気養生、気中養生

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-40 に示す。

表 7-40 使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.19g/cm^3) ･･･以下 E
細骨材	千葉県市原市万田野産山砂 (表乾密度：2.53g/cm^3) ･･･以下 S
粗骨材	山口県美祢市伊佐町産石灰砕石 2005 (表乾密度:2.70g/cm^3) ･･･以下 G
水	地下水

②. 試験項目および方法

試験項目および方法を以下に示す。

a. スランプおよび空気量

コンクリートの練上がり直後において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法)」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b. 塩化物イオン量

練上がり直後に試料を採取し、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c. 圧縮強度

圧縮強度試験は、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従った。試験に使用した供試体は、練上がり直後に作製し、蒸気養生を行った。蒸気養生後は、所定の材齢まで気中養生を行い試験に供した。試験材齢は、14 日、6 ヶ月、1 年とした。

d. 施工後の外観調査

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を確認することを目的として、工場製品の施工後に目視観察を実施した。外観調査では施工された工場製品のひび割れ、反り、たわみお

よび色調変化等について観察を行った。また、外観調査の実施材齢は、施工時（材齢 14 日）、施工後 6 ヶ月および施工後 1 年とした。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-41 および表 7-42 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-41 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。

表 7-41　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	7.0±2.0cm
空気量	JIS A 1128	1.5±1.0%
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 14 日：18N/mm^2

表 7-42　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤
			W	C	S	G	Ad (C×%)
E	55	48.0	160	291	909	1030	-

(3) 試験結果

①フレッシュコンクリート試験結果

表 7-43 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、いずれも目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は 0.04 kg/m^3 であった。また、製品の製造は、一般の製品と同様に振動締固めにより行われたが、良好な作業性が確保できることを確認した。

表 7-43　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)	塩化物ｲｵﾝ量 (kg/m^3)
E	7.0	2.3	18.5	0.04

②強度性状

図 7-32 に材齢と圧縮強度の関係を示す。エコセメントコンクリートの材齢 14 日における圧縮強度は、設計基準強度を満足した。また、供用後も強度の発現が認められ、供用開始後 1 年の圧縮強度は約 35N/mm^2 であった。

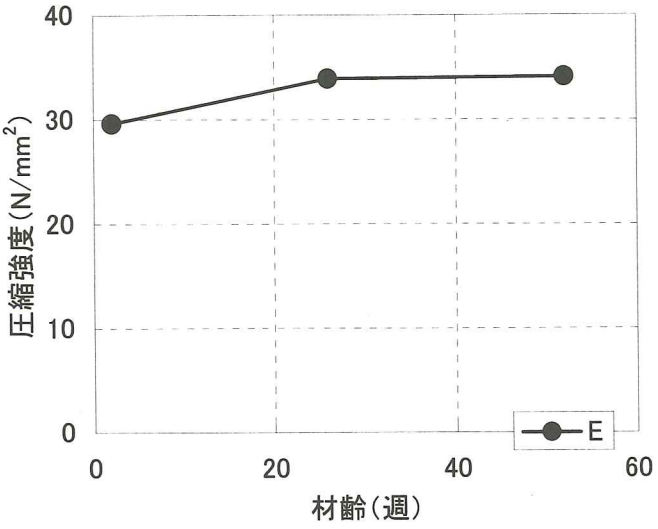


図 7-32　材齢と圧縮強度の関係

③外観調査結果

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を目視により観察した結果、供用後 1 年においてひび割れ、反り、たわみおよび色調の変化は認められず、健全であることが確認された。

7.3.2 道路用製品（側溝・蓋、境界ブロック）

(1) 施工概要

施工概要を表 7-44 に示す。

表 7-44 施工概要

施 工 日	平成 12 年 10 月 7 日～平成 13 年 1 月 31 日
場　　所	千葉県市原市
発 注 者	千葉県
工 事 名	排水整備工事、交通安全対策工事 道路維持・排水整備合併工事
施工内訳	エコセメントコンクリート 千葉県型側溝および蓋　30m 歩車道境界ブロック　10m
養生方法	蒸気養生、気中養生

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-45 に示す。セメントは普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントの 2 種類を使用した。

表 7-45 使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.18g/cm³) ･･･以下 E 普通ポルトランドセメント (密度：3.16g/cm³) ･･･以下 N
細骨材	千葉県市原市産陸砂 (表乾密度：2.59g/cm³) ･･･以下 S
粗骨材	高知県高岡郡鳥形山鉱業所産石灰砕石 (表乾密度:2.70g/cm³) ･･･以下 G
減水剤	ネオセッター70（スルホン化メラミン高縮合物塩　減水剤） ･･･以下 Ad

②試験項目および方法

a. スランプおよび空気量

コンクリートの練上がり直後において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気質圧力方法）」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b. 塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c. 圧縮強度

圧縮強度試験は、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従った。試験に使用した供試体は、練上がり直後に作製し、蒸気養生を行った。蒸気養生後は、所定の材齢まで気中養生を行い試験に供した。試験材齢は、14 日、6 ヶ月、1 年とした。

d. 施工後の外観調査

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を確認することを目的として、工場製品の施工後に目視観察を実施した。外観調査では施工された工場製品のひび割れ、反り、たわみおよび色調変化等について観察を行った。また、外観調査の実施材齢は、施工時（材齢 14 日）、施工後 6 ヶ月および施工後 1 年とした。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表 7-46 および表 7-47 にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-46 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。

表 7-46　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	7.0±2.0cm
空気量	JIS A 1128	1.5±1.0%
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 14 日：26.5N/mm^2

表 7-47　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤
			W	C	S	G	Ad (C×%)
E	49	39	161	329	718	1180	1.0
N	49	41	161	329	753	1139	1.0

(3) 試験結果

①フレッシュ性状

表 7-48 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、いずれも目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は 0.03 kg/m^3 であった。また、製品の製造は、一般の製品と同様に振動締固めにより行ったが、良好な作業性が確保できることを確認した。

表 7-48　フレッシュコンクリートの試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	スランプ (cm)		空気量 (%)		コンクリート温度 (℃)		塩化物イオン量 (kg/m^3)
	直後	30 分	直後	30 分	直後	30 分	
E	10.5	9.0	1.0	1.0	19.0	26.6	0.03
N	10.0	8.0	1.1	1.0	21.4	22.6	0.03

②強度性状

a. 供試体の圧縮強度

図 7-33 に材齢と圧縮強度の関係を示す。エコセメントコンクリートの材齢 14 日における圧縮強度は設計基準強度を満足した。また、供用後も強度の発現が認められ、供用開始後 1 年の圧縮強度は、材齢 14 日の圧縮強度に対し約 7%増であった。

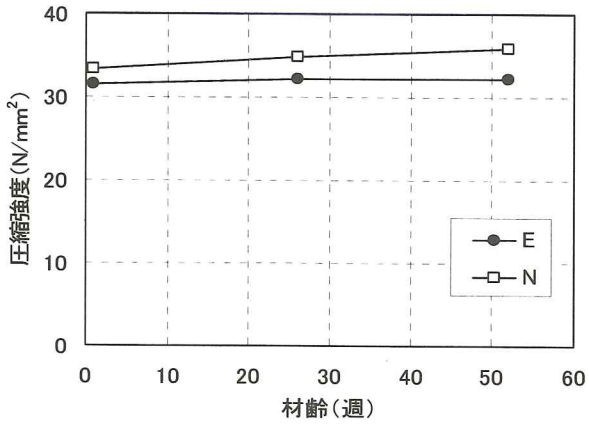


図 7-33　材齢と圧縮強度の関係

b. 製品強度（側溝蓋の曲げ荷重強度）

図 7-34 に材齢と製品強度の関係を示す。エコセメントコンクリートの側溝蓋の曲げ荷重強度は、出荷材齢 14 日において 41.4kN を示し、規格値 27kN を満足した。また、供用後も強度の発現が認められ、供用開始後 1 年における側溝蓋の曲げ荷重強度は、材齢 14 日の曲げ荷重強度に対しおよそ 40%増の 57.4kN を示した。

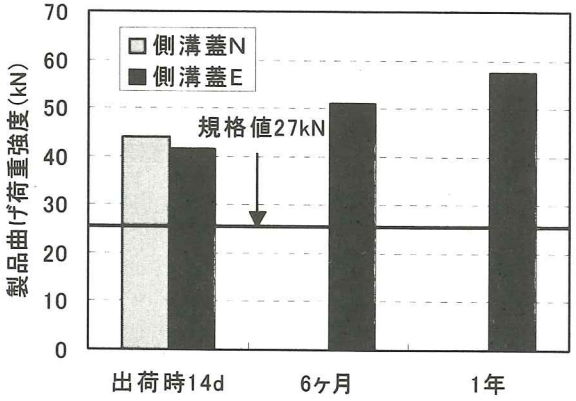


図 7-34　製品曲げ荷重強度

③外観調査結果

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を目視により観察した結果、供用後 1 年において製品のひび割れ、反り、たわみおよび色調の変化は認められず、健全であることが確認された。

7.3.3 大型道路用製品（L形側溝）

(1) 施工概要

施工概要を表 7-49 に示す。

表 7-49 施工概要

施 工 日	平成 12 年 11 月	平成 13 年 10 月
場　　所	東京都北区浮間	東京都世田谷区
発 注 者	東京都	
施工内訳	エコセメントコンクリート 鉄筋コンクリートL形側溝	
養生方法	蒸気養生、気中養生	

(2) 試験概要

①使用材料

使用材料を表 7-50 に示す。セメントは普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントの 2 種類を使用した。

表 7-50 使用材料

セメント	普通エコセメント (密度：3.18g/cm^3) ･･･以下 E 普通ポルトランドセメント (密度：3.15g/cm^3) ･･･以下 N
細骨材	神奈川県相模地区産砕砂 (表乾密度：2.64g/cm^3) ･･･以下 S
粗骨材	神奈川県相模地区産砕石 (表乾密度:2.65g/cm^3) ･･･以下 G
減水剤	NL4000 (高縮合トリアジン系化合物　減水剤) ･･･以下 Ad
AE 剤	ﾏｲｸﾛｴｱｰ 775S (変性ｱﾙｷﾙｶﾙﾎﾞﾝ酸化合物　AE 剤) ･･･以下 AE

②試験項目および方法

a. スランプおよび空気量

コンクリートの練上がり直後において試料を採取し、JIS A 1101：1998「コンクリートのスランプ試験方法」および JIS A 1128：1999「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」に従ってスランプおよび空気量を測定した。

b. 塩化物イオン量

現場荷卸時に採取した試料を用いて、簡易法によりフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。

c. 圧縮強度

圧縮強度試験は、JIS A 1108：1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従った。試験に使用した供試体は、練上がり直後に作製し、蒸気養生を行った。蒸気養生後は、所定の材齢まで気中養生を行い試験に供した。試験材齢は、14 日、6 ヶ月、1 年、2 年とした。

d. 曲げ強度

曲げ強度試験は、JIS A 1106：1999「コンクリートの曲げ強度試験方法」に従った。試験に使用

した供試体は、練上がり直後に作製し、蒸気養生を行った。蒸気養生後は、所定の材齢まで気中養生を行い試験に供した。試験材齢は、14日、6ヶ月、1年、2年とした。

e. 製品強度

コンクリート製品の強度試験は、JIS A 5372：2000「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」に従い、出荷時（材齢14日）に実施した。

f. 施工後の外観調査

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を確認することを目的として、工場製品の施工後に目視観察を実施した。外観調査では施工された工場製品のひび割れ、反り、たわみおよび色調変化等について観察を行った。また、外観調査の実施材齢は施工後1年とした。

③コンクリート配合

コンクリートの配合条件および配合を表7-51および表7-52にそれぞれ示す。エコセメントコンクリートの配合は目標とするフレッシュ性状および圧縮強度（表 7-51 参照）が得られるよう試験練りにより配合を決定した。

表7-51　コンクリート配合条件

項目	試験方法	目標値
スランプ	JIS A 1101	8.0±2.5cm
空気量	JIS A 1128	E：5.0±1.0%，N：4.0±1.0%
圧縮強度	JIS A 1108	材齢14日：30N/mm^2

表7-52　コンクリートの示方配合

ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤	
			W	C	S	G	Ad (C×%)	AE (C×%)
E	43	41	172	400	706	1020	2.0	0.013
N	43	39	172	400	681	1069	1.5	0.0085

(3) 試験結果

①フレッシュコンクリート試験結果

表 7-53 にフレッシュコンクリートの結果を示す。エコセメントコンクリートのスランプおよび空気量は、いずれも目標値を満足し、フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は、0.03 kg/m^3 であった。また、製品の製造は、振動締固めにより行われたが、エコセメントコンクリートが、製品の製造上問題となるようなことはなく、良好な作業性が確保できることを確認した。

表 7-53　フレッシュコンクリート試験結果ならびに塩化物イオン量

ｾﾒﾝﾄ種類	スランプ (cm)		空気量 (%)		コンクリート温度 (℃)		塩化物イオン量 (kg/m³)
	直後	30 分	直後	30 分	直後	30 分	
E	8.0	4.0	6.0	3.4	13.6	14.1	0.03
N	6.0	4.0	3.7	3.0	14.2	14.1	0.03

②強度性状

a. 供試体強度

出荷材齢時におけるコンクリートの強度試験結果を表 7-54 に示す。材齢と圧縮強度の関係を図 7-35 に材齢と曲げ強度の関係を図 7-36 に示す。エコセメントコンクリートの材齢 14 日における圧縮強度は、設計基準強度（30 N／mm²）を満足した。また、圧縮強度および曲げ強度ともに材齢 1 年程度まで強度の増進が認められたが、普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較すると長期的な強度の増進は少なかった。

表 7-54　出荷材齢時におけるコンクリート強度試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	材齢 (出荷時)	圧縮強度 (N／mm²)	静弾性係数 (kN／mm²)	曲げ強度 (N／mm²)
E	14	35.8	21.8	3.63
N	14	35.7	23.8	3.49

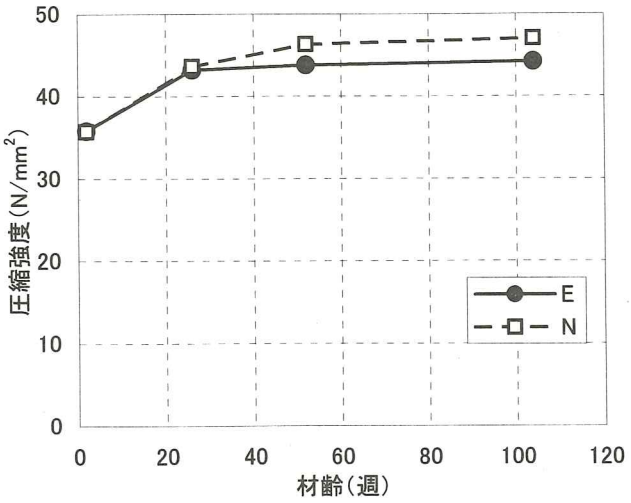


図 7-35　材齢と圧縮強度の関係

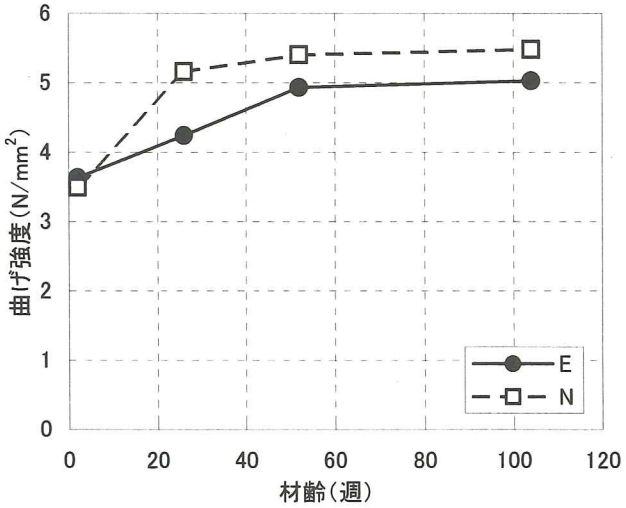


図 7-36　材齢と曲げ強度の関係

b. 製品強度（鉄筋コンクリートＬ形側溝の曲げ荷重強度）

出荷材齢時における製品強度試験結果を表 7-55 に示す。出荷材齢 14 日におけるエコセメントコンクリートを使用した製品の曲げ荷重強度は、ひび割れ荷重 44.8kN、破壊荷重 61.0kN であり、いずれも規格値である 22.0kN を満足し、普通ポルトランドセメントを使用した製品と同等の強度を示した。

表 7-55　出荷材齢時における製品強度試験結果

ｾﾒﾝﾄ種類	材齢（出荷時）	製品強度試験			
		規格値（kN）	測定値（kN）		外観
			ひび割れ	破壊	
E	14	22.0	44.8	61.0	問題無し
N	14		43.1	61.0	問題無し

③外観調査結果

エコセメントコンクリートを使用した工場製品の供用状況を目視により観察した結果、供用後 1 年において製品のひび割れ、反り、たわみおよび色調の変化は認められず、健全であることが確認された。

7.4　7章のまとめ

7.4.1　レディーミクストコンクリートの試験施工結果のまとめ

本節では普通エコセメントを使用したレディーミクストコンクリートの実施工への適用性に関して検討を行った。その結果をまとめると以下のようである

(1) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、外気温や運搬時間等を考慮した適切な配合を選定することで現場荷卸時において所定のフレッシュ性状を得ることが可能であった。

(2) 普通エコセメントを使用した場合のフレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量は、普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種を使用した場合と同等か若干増加する程度であった。このことから、普通エコセメント中の塩化物イオンは、フレッシュコンクリート水の中にはその一部しか溶出しないことが明らかになった。

(3) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、適切な配合を選定することで、所定の材齢において設計基準強度を満足することが可能であった。

(4) 普通エコセメントを使用したコンクリートの静弾性係数は、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と同等であった。

(5) 普通エコセメントを使用したコンクリートの引張強度は、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した場合と同等であった。

(6) 普通エコセメントを使用したコンクリートのポアソン比は約0.20であり、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等であった。

(7) 普通エコセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮性状において、質量変化率は普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種を使用した場合とほぼ同程度かやや大きく、長さ変化率は同等かやや小さくなった。

(8) 普通エコセメントを使用したコンクリートにおいても、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に、適切な空気量の設定により十分な凍結融解抵抗性を得ることが可能であった。

(9) 普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化深さは、同一圧縮強度の普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも若干大きかった。

(10) 普通エコセメントを使用したマスコンクリートの内部温度上昇速度は、高炉セメントB種よりもやや速かった。

7.4.2　工場製品の試験施工結果のまとめ

本節では普通エコセメントを使用した工場製品の実施工への適用性に関して検討を行った。その結果をまとめると以下のようである。

(1) 普通エコセメントを使用したコンクリートの練混ぜ直後におけるスランプおよび空気量は、いずれの場合も目標値を満足した。

(2) 普通エコセメントを使用したフレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオンはいずれも少量であった。すなわち、普通エコセメント中の塩化物イオンは、フレッシュコンクリート中の水にはその一部しか溶出しない。

(3) 普通エコセメントを使用した工場製品の製造においても、一般のコンクリートと同様の方法により行うことが可能であり、製造上特に問題は認められなかった。

(4) 普通エコセメントを使用したコンクリートも一般のコンクリートと同様に、適切な配合設計により所定の材齢において設計基準強度を満足した。また、供用開始後1年においても圧縮強度の低下は認められなかった。

(5) 普通エコセメントを使用した工場製品においても一般のコンクリートと同様に所定の荷重強度を有することが可能であり、供用開始後1年においても強度の低下は認められなかった。

(6) 普通エコセメントを使用した工場製品の供用状況を目視により確認した結果、供用開始後1年ではひび割れ、反り、たわみおよび色調の変化は認められず、健全であることが確認された。

8　普通エコセメントを用いたコンクリートの塩化物イオン量の検査方法の研究

8.1　はじめに

普通エコセメントの塩化物イオン含有量は0.05%程度であり、普通ポルトランドセメントのJIS規格値（0.02%）よりも多い。しかしながら、これまでの試験結果によると、普通エコセメントを使用したフレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と大きな差は認められない。これは、普通エコセメント中の塩化物イオンはフレッシュコンクリート中の水にはその一部しか溶出しないためと考えられる。したがって、普通エコセメントを使用したコンクリートの全塩化物イオン量の検査をフレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量の測定により行う場合は、コンクリート中の塩化物イオン量を過少に評価することになる。そこで、普通エコセメント中の塩化物イオンのフレッシュコンクリート中の水への溶出特性を明らかにし、エコセメントコンクリート中の塩化物イオン総量の検査方法について検討した。

8.2　実験概要

8.2.1　実験計画

普通エコセメントに含まれる塩化物イオンのフレッシュコンクリート中の水への溶出性状を把握することを目的として試験を実施した。実験の要因と水準を表8-1に示す。実験は普通エコセメントの製造日、コンクリートの水セメント比および注水後の経過時間に着目して実施した。また、六価クロムの溶出低減に有効と考えられている硫酸第一鉄を添加し、塩化物イオンの溶出性状に及ぼす硫酸第一鉄の影響についても検討した。実験概要を表8-2に示す。

表8-1　要因と水準

要因	水準
セメント種類	普通エコセメント・・・以下E （市原エコセメント社製、製造日：H13.11.1、H13.11.23）‥計2ロット 普通ポルトランドセメント・・・以下N
硫酸第一鉄添加率（%）	0、1
水セメント比（%）	45、55、65
測定時間（分）	30、60、90

表8-2　実験概要

セメント種類		E　11／1品						E　11／23品						N
硫酸第一鉄添加率（%）		0			1			0			1			0
水セメント比（%）		45	55	65	45	55	65	45	55	65	45	55	65	55
塩化物イオン量(簡易法)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
塩化物イオン量 (JIS A 5308 附属書5)	30分	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	－
	60分	－	○	－	－	○	－	－	○	－	－	○	－	－
	90分	－	○	－	－	○	－	－	○	－	－	○	－	－

8.2.2 使用材料

使用材料を表 8-3 に示す。実験には製造日の異なる 2 種類の普通エコセメントおよび普通ポルトランドセメントを使用した。また、練混ぜ水にはイオン交換水を使用した。表 8-4 に使用したセメントの化学分析結果を示す。

表 8-3 使用材料

使用材料	産地／銘柄
セメント	普通エコセメント （市原エコセメント(株)社製、11/1 および 11／23 製造品、密度 3.18g/cm³） 普通ポルトランドセメント （太平洋セメント(株)社製、密度 3.16g/cm³）
細骨材	静岡県小笠郡浜岡町産陸砂（表乾密度 2.60g/cm³）
粗骨材	茨城県西茨城郡岩瀬町産砕石 5 号、6 号 （混合質量比　5 号:6 号＝7：3、表乾密度 2.65g/cm³）
水	イオン交換水
AE 減水剤	リグニンスルフォン酸系 AE 減水剤（ポゾリス No.70、エヌエムビー社製）
AE 剤	アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン表面活性剤 （マイクロエア 303A、エヌエムビー社製）

表 8-4 セメントの化学分析結果

試料名	化学成分（%）								
	ig.loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	Cl^-
E11/1　R0	1.39	17.55	7.35	3.84	61.06	2.01	3.84	0.37	0.041
E11/1　R1	1.12	17.59	7.38	4.16	61.10	1.97	3.82	0.35	0.042
E11/23 R0	1.19	17.43	7.31	4.18	61.45	1.98	3.56	0.44	0.037
E11/23 R1	0.96	17.44	7.31	4.59	61.22	2.00	3.53	0.45	0.038
N	1.91	21.08	1.93	2.63	63.66	1.55	2.00	0.62	0.009

8.2.3 試験項目および方法

(1) 簡易法による塩化物イオン量の測定

成形した供試体を用いて、簡易法によりコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量の測定を行った。この方法は、試験紙をコンクリート中に挿入し、変色した長さを目盛りで読み取り、換算表により塩化物イオン濃度（%）を求めるもので、重クロム酸銀と塩化物イオンの反応を利用している。

(2) JIS 法による塩化物イオン量の測定

JIS A 5308 付属書 5「フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法」に準拠して塩化物イオン濃度を測定した。ろ液の採取は、フレッシュコンクリートからウェットスクリーニングによってモルタルを分離し、注水後 30 分、60 分、90 分において、吸引ろ過により採取した。また、測定は電位差滴定法により行った。

8.2.4 コンクリート配合

試験に用いたコンクリートの配合を表 8-5 に示す。

表 8-5　コンクリート配合

使用セメント	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)			
			W	C	S	G
E11/1　R0、R1 E11/23 R0、R1	45	42	158	351	750	1057
	55	44	158	287	808	1050
	65	46	158	243	862	1033
N	55	46	158	284	848	1016

8.3　普通エコセメント中の塩化物イオンの溶出特性

8.3.1　塩化物イオン溶出率に及ぼす水セメント比の影響

図 8-1 に簡易法および JIS 法のそれぞれの方法で測定された塩化物イオン濃度をもとに算定した塩化物イオンの溶出率を示す。なお、資料 32 に測定データを示す。普通ポルトランドセメントを使用した場合の塩化物イオンの溶出率はほぼ 100%であった。一方、普通エコセメントでは、簡易法で 30～50%、JIS 法で 50～70%程度の溶出率であった。水セメント比が塩化物イオン溶出率に及ぼす影響は小さく、セメントの製造日による変動の方が大きかった。すなわち、11/23 品は 11/1 品と比較して 10～20%程度高い溶出率を示した。また、硫酸第一鉄が塩化物イオンの溶出率に及ぼす影響は小さいことが分かった。

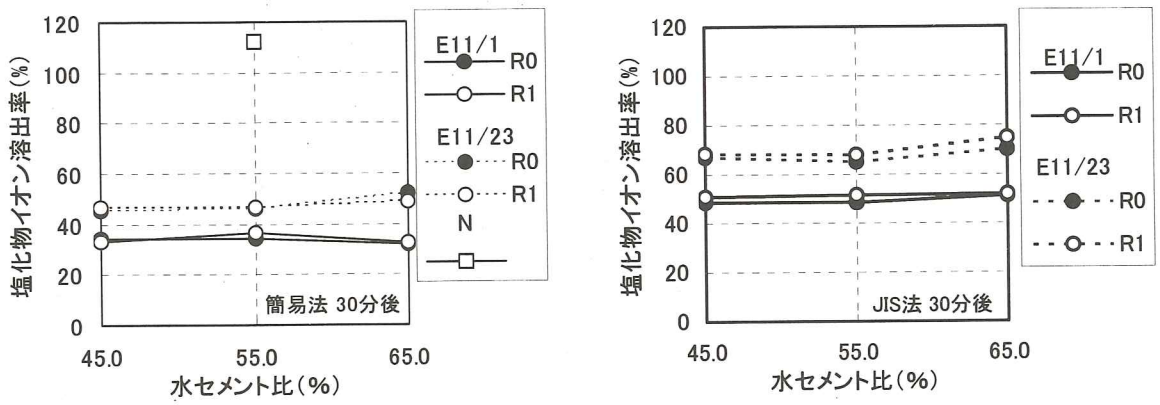


図 8-1　塩化物イオン溶出率の水セメント比の影響

8.3.2　塩化物イオン溶出率の経時変化

塩化物イオンの溶出率の経時変化を図 8-2 に示す。塩化物イオンの溶出率は、注水後 30 分から 90 分までにおいては、大きな変化は認められなかった。

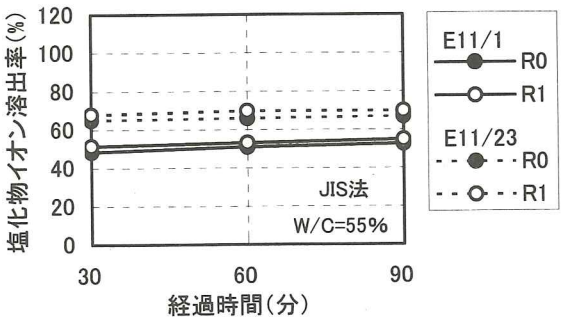


図 8-2　塩化物イオン溶出率の経時変化

8.3.3 試験施工における塩化物イオン溶出率の算定

市原市のエコセメント製造工場で製造された普通エコセメントを用い、平成13年10月から平成14年4月までのおよそ半年間に試験施工に関連して実施した試験結果をもとに、塩化物イオン溶出率を算定した結果を表8-6に示す。また、表8-6および前述の室内試験結果を、セメントに由来するコンクリート中の塩化物イオン量とフレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量測定値との関係で表したものを図8-3に示す。

普通エコセメント中の塩化物イオンはコンクリート中の水の中にはその一部しか溶出せず、その溶出率は30～70%の範囲であった。

表8-6　試験施工におけるエコセメントコンクリートの塩化物イオン溶出率算定結果

適用用途	測定場所	W/C (%)	単位水量 (kg/m³)	単位セメント量 (kg/m³)	セメント中の Cl^-量(%)	セメントに由来するコンクリート中の Cl^-量 (kg/m³)	簡易法による Cl^-量測定結果 (kg/m³)	Cl^-溶出率 (%)	試験日
L形側溝（東京都）	現場	43	172	400	0.036	0.144	0.06	41.7	H13.10
逆L型擁壁（東京都）	試験室	61	166	273	0.043	0.117	0.08	68.4	H13.12
		56	166	297	0.043	0.128	0.09	70.3	
		51	166	327	0.043	0.141	0.07	49.6	
	現場	56	166	297	0.040	0.118	0.05	42.4	H14.4
L型擁壁（東京都）	試験室	57	169	299	0.043	0.129	0.07	54.3	H14.1
		52	169	328	0.043	0.141	0.07	49.6	
		47	169	363	0.043	0.156	0.07	44.9	
	現場	52	169	328	0.040	0.131	0.05	38.2	H14.4
消波ブロック（千葉県）	現場	57	168	296	0.036	0.107	0.06	56.1	H14.1
重力式擁壁（千葉県）	現場	64	166	259	0.043	0.111	0.05	45.0	H14.2
防潮堤かさ上げ（千葉県）	現場	57	168	296	0.035	0.104	0.04	38.5	H14.3
農業用製品（千葉県）	試験室	44	165	375	0.035	0.131	0.07	53.4	H14.3
		44	167	380	0.035	0.133	0.09	67.7	
		44	176	400	0.035	0.140	0.09	64.3	

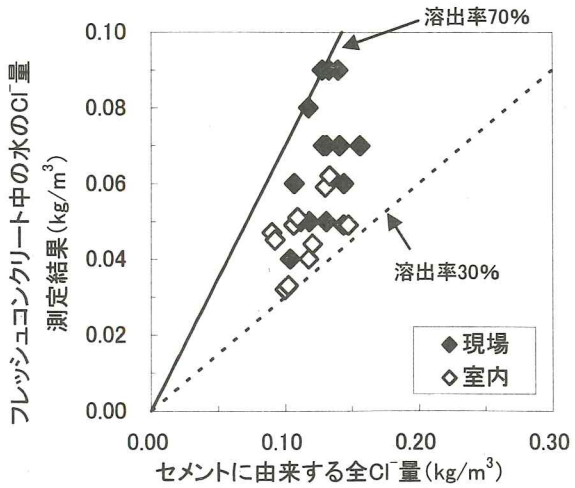


図8-3　コンクリート中のセメントに由来する全塩化物イオン量とフレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量測定値との関係

8.4　塩化物イオン量の検査方法の提案

普通エコセメント中の塩化物イオンはフレッシュコンクリート中の水には一部しか溶出せず、その溶出率は30～70％の範囲で変動していた。したがって、普通エコセメントを使用したコンクリートに含まれる塩化物イオン量を適切に評価するためには、フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量の測定結果に、セメント中に残存する塩化物イオン量を加える必要がある。そこで、セメント中に残存する塩化物イオンの比率をαとして、エコセメントコンクリート中の全塩化物イオン量を求める式①を提案する。

$$A = B + \alpha \times C \times D/100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式①$$

ここで、A：普通エコセメントを用いたコンクリートの塩化物イオン量の総量(kg/m³)

B：フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量の測定値(kg/m³)

C：単位セメント量(kg/m³)

D：普通エコセメントの塩化物イオン量(%)

α：フレッシュコンクリート中の水に溶け出さずにセメント中に残存している塩化物イオン量の比率

ここで、セメント中の塩化物イオン量（記号D）としては、試験成績表に記載される最大値を用いることで、より安全側の評価となる。また、残存比（記号α）は、セメントの製造日によって異なるため、試験などによって適切に定める必要がある。ただし、図8-3から分かるように普通エコセメント中の塩化物イオンの溶出割合は少ないもので30％であることから、残存比（記号α）を0.7とすれば最大限安全側の運用が可能である。

8.5　8章のまとめ

普通エコセメントを使用したフレッシュコンクリート中の水に溶出する塩化物イオン量を測定し、エコセメントコンクリート中の塩化物イオン総量の検査方法を検討した結果、以下のことが明らかになった。

(1) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、セメントに由来する全塩化物イオン量に対してフレッシュコンクリート中の水に溶出する塩化物イオン量の割合は30～70％の範囲で変動した。溶出率はセメントの製造日によって大きく異なり、水セメント比、練混ぜ後の経過時間、還元剤の影響はわずかであった。

(2) 普通エコセメントを使用したコンクリート中の全塩化物イオン量を適切に評価するため、フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量に、セメント中に残存する塩化物イオン量を加える方法を提案した。

9　まとめ

本共同研究では、低塩素化された普通エコセメントを土木構造物へ利用する技術を確立するため、普通エコセメントコンクリートの利用方法、品質性状、安全性、施工性および耐久性に関する各種調査、検討を行った。本研究において得られた結論を要約すると以下のようである。

(1) 普通エコセメントは主に比表面積が大きいことから、これを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して、同一スランプ値を得るために必要な単位水量が若干増加する、粘性が若干高くなる、スランプロスが若干大きくなるなどの傾向があるが、適切な配合を選定することによって作業に適したフレッシュ性状を得ることが可能である。

(2) 普通エコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、同一水セメント比の普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して同等か若干低い傾向がある。

(3) 普通エコセメントを使用したコンクリートにおいてもセメント水比と圧縮強度の関係は普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に一次式で近似できることから、従来と同様の手法により、配合設計が可能である。

(4) 普通エコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、10～30℃の環境温度において普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様の傾向を示し、積算温度の対数とほぼ直線関係を示す。

(5) 普通エコセメントを使用したコンクリートの圧縮強度と圧縮強度以外の強度性状（静弾性係数、曲げ強度、引張強度）の関係は普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様の関係を示す。

(6) 普通エコセメントを使用したコンクリートの乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して、質量減少率がやや大きいが、長さ変化率は同等かやや小さい。

(7) 普通エコセメントを使用したコンクリートの凍結融解抵抗性は、一般のコンクリートと同様に、コンクリート中の空気量の影響を大きく受ける。したがって、凍結融解抵抗性を確保するためには十分な空気量を導入する必要がある。

(8) 普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化は、同一水セメント比の普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも大きいが高炉セメントB種を使用した場合よりも小さいため、一般のコンクリートと同等とみなすことができる。また、普通エコセメントを使用したコンクリートの中性化は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様に硬化体空隙率と密接な関係がある。

(9) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、普通エコセメント中の塩化物イオン量に起因して、塩化物イオン量が一般のコンクリートよりも増加する。しかし、コンクリート中の塩化物イオン含有量がJIS規格値（0.30kg/m^3）以下となるような汎用的なコンクリート配合であれば鋼材を保護する性能も普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等である。

(10) 普通エコセメントを使用したコンクリートを2年間屋外暴露した結果、細孔径分布、塩化物イオン浸透量および化学成分の分布は、普通ポルトランドセメントを使用した場合と同様である。

(11) 普通エコセメントを使用したコンクリート硬化体からの重金属類の溶出特性を評価した結果、一般的なコンクリートとしての利用においては、環境に対する安全性は十分確保されているものと

考えられる。

(12) 普通エコセメントを使用したコンクリートと鉄筋の付着性状は、鉄筋が水平状態、垂直状態のいずれの場合においても普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して同程度以上である。

(13) 普通エコセメントを用いたコンクリートを用い蒸気養生を施した鉄筋コンクリート部材の曲げおよびせん断性状は、普通ポルトランドセメントを用いた場合と同等であり、従来の設計方法を適用できる。

(14) 普通エコセメントを使用したコンクリートは、セメントに由来する全塩化物イオン量に対してフレッシュコンクリート中の水に溶出する塩化物イオン量の割合は30～70％の範囲で変動する。

(15) 普通エコセメントを使用したコンクリート中の全塩化物イオン量を適切に評価するためには、フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量に、セメント中に残存する塩化物イオン量を加える次式により行う必要がある。

$$A = B + \alpha \times C \times D / 100$$

ここで、A：普通エコセメントを用いたコンクリートの塩化物イオン量の総量 (kg/m^3)

B：フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン量の測定値 (kg/m^3)

C：単位セメント量 (kg/m^3)

D：普通エコセメントの塩化物イオン量 (%)

α：フレッシュコンクリート中の水に溶け出さずにセメント中に残存している塩化物イオン量の比率

以上、本研究の結果普通エコセメントを鉄筋コンクリート材料として実用に供するために必要な多くのデータを蓄積することができた。これらの結果は、普通エコセメントが鉄筋コンクリート材料として適用可能な材料であることを示すものである。今後、普通エコセメントが建設資材として積極的に活用されることによって、資源循環型社会の構築に大きく寄与することが期待される。

写真編

写真1　蒸気養生前後の型枠内面の状況 ……157

写真2　試験施工の状況 ……158

写真3　暴露試験状況 ……160

写真4　暴露供試体EPMA面分析測定結果（標準養生）……161

写真5　暴露供試体EPMA面分析測定結果（蒸気養生）……162

写真１　蒸気養生前後の型枠内面の状況

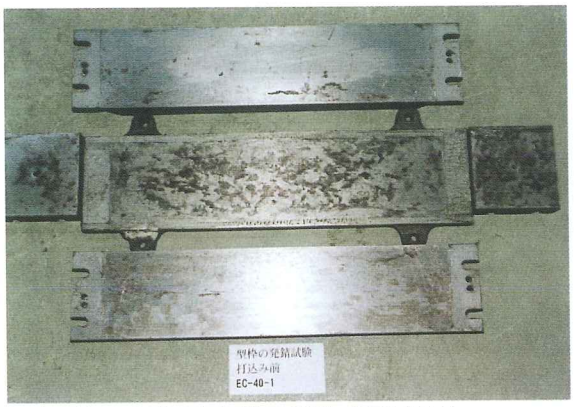


写真 1-1 打込み前の型枠内面(E40)



写真 1-2 蒸気養生・脱型後の型枠内面(E40)



写真 1-3 打込み前の型枠内面(E50)



写真 1-4 蒸気養生・脱型後の型枠内面(E50)

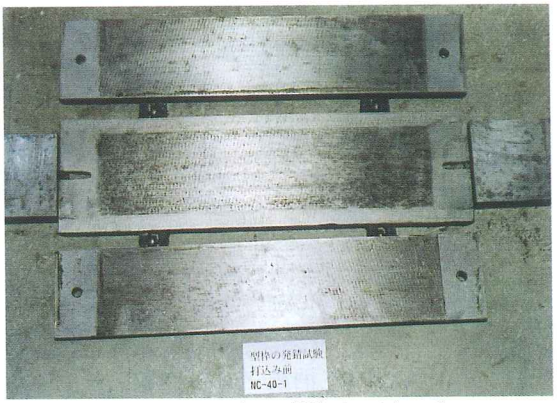


写真 1-5 打込み前の型枠内面(N40)

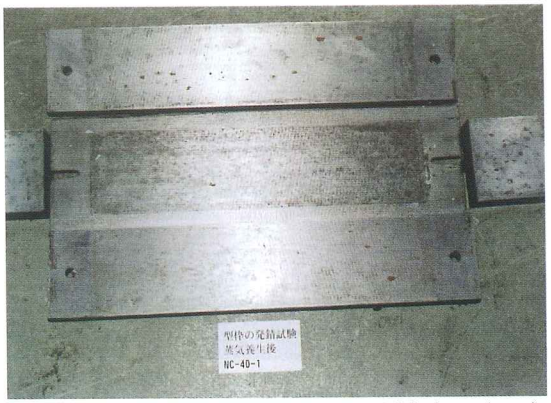


写真 1-6 蒸気養生・脱型後の型枠内面(N40)

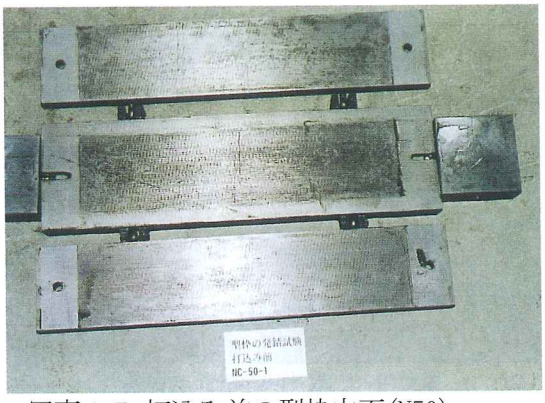


写真 1-7 打込み前の型枠内面(N50)



写真 1-8 蒸気養生・脱型後の型枠内面(N50)

写真２　試験施工の状況

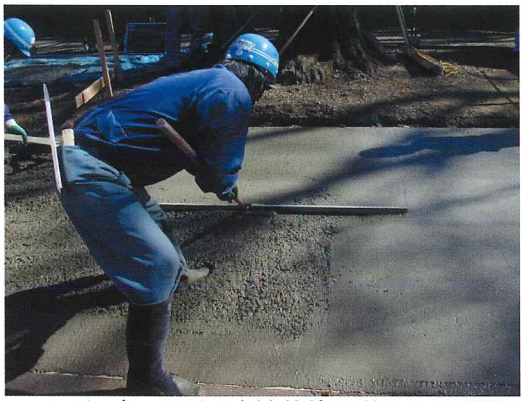


写真 2-1 園路舗装施工状況



写真 2-2 園路舗装完成後



写真 2-3 調節池越流堰施工状況



写真 2-4 調節池越流堰完成後



写真 2-5 消波ブロック製造状況



写真 2-6 消波ブロック脱型後



写真 2-7 重力式擁壁施工状況



写真 2-8 重力式擁壁完成後



写真 2-9 防潮堤かさ上げ工事施工状況



写真 2-10 防潮堤かさ上げ工事完成後



写真 2-11 L型擁壁施工状況



写真 2-12 L型擁壁完成後



写真 2-13 逆L型擁壁施工状況

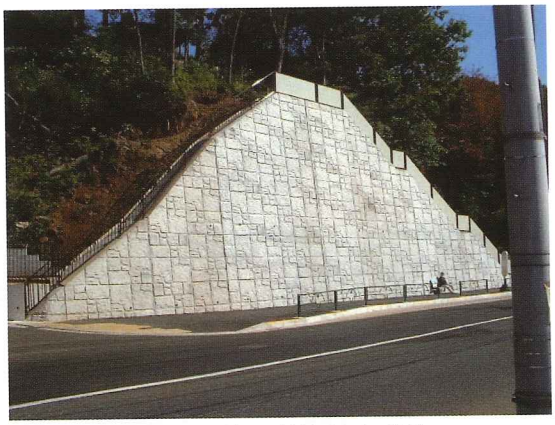


写真 2-14 逆L型擁壁完成後



写真 2-15 積みブロック施工状況

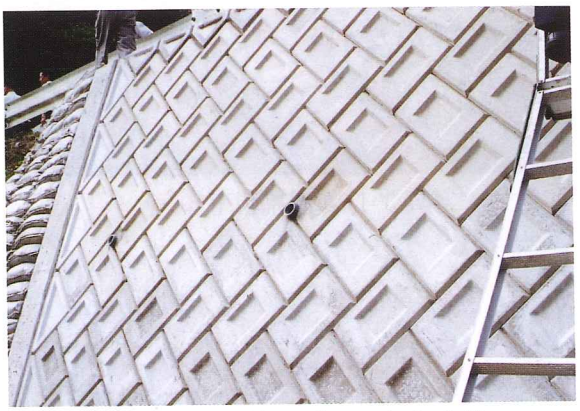


写真 2-16 積みブロック完成後



写真 2-17 歩車道境界ブロック供用状況



写真 2-18 側溝供用状況



写真 2-19 L形側溝脱型後



写真 2-20 L形側溝供用状況

写真 3 暴露試験状況



写真 3-1 新潟県親不知



写真 3-2 茨城県つくば市

写真 4　暴露供試体 EPMA 面分析結果（標準養生：写真上側が暴露面）

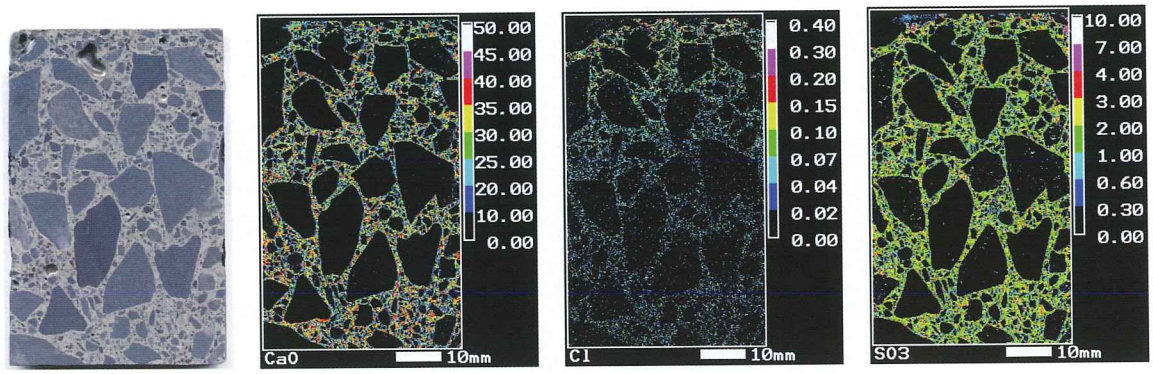


写真 4-1　E55-海側（親不知　暴露材齢 2 年）

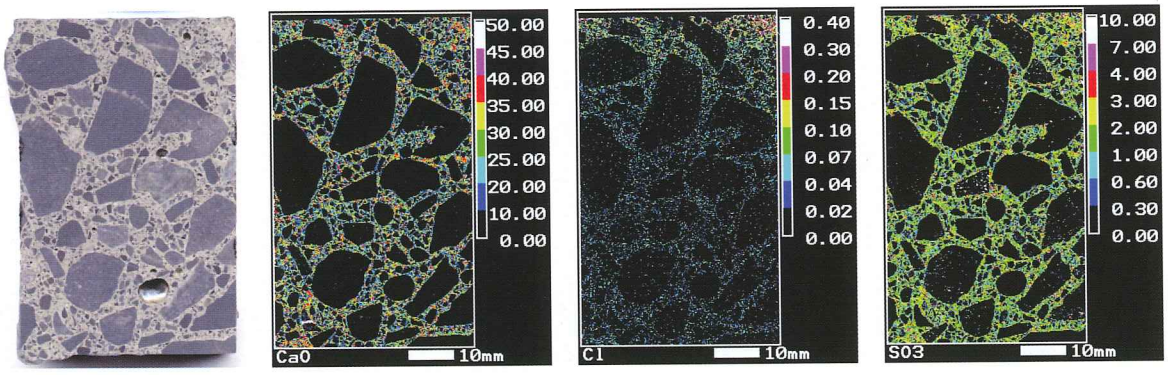


写真 4-2　E55-山側（親不知　暴露材齢 2 年）

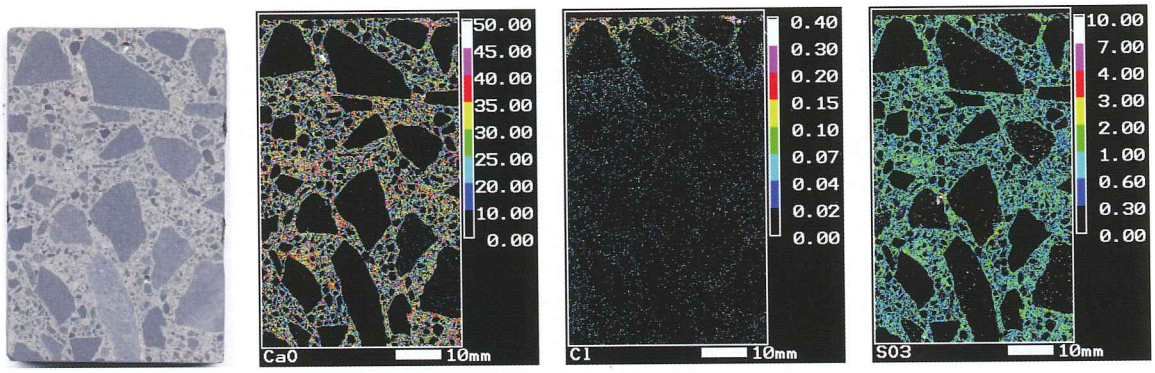


写真 4-3　N55-海側（親不知　暴露材齢 2 年）

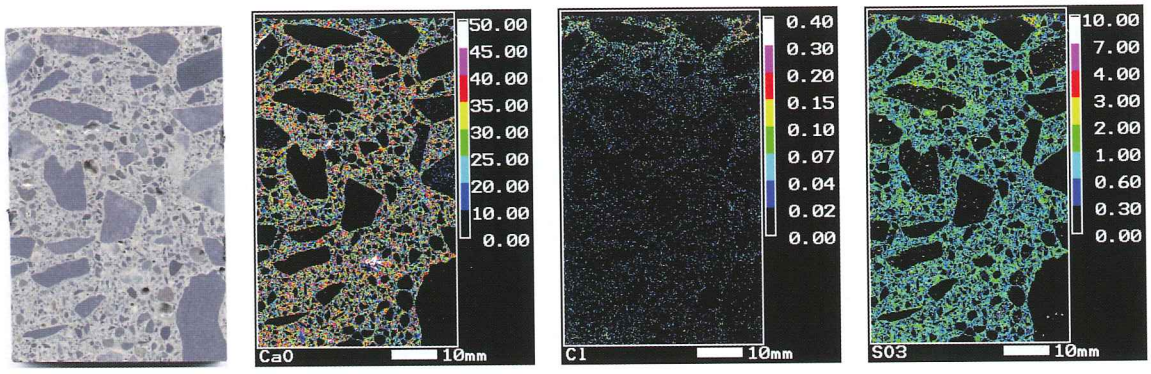


写真 4-4　N55-山側（親不知　暴露材齢 2 年）

写真 5　暴露供試体 EPMA 面分析結果（蒸気養生：写真上側が暴露面）

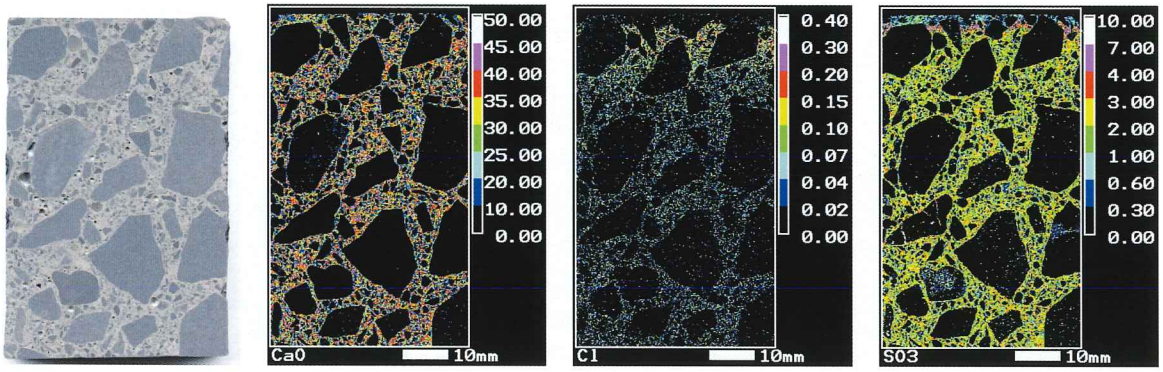


写真 5-1　E50-海側（親不知　暴露材齢 2 年）

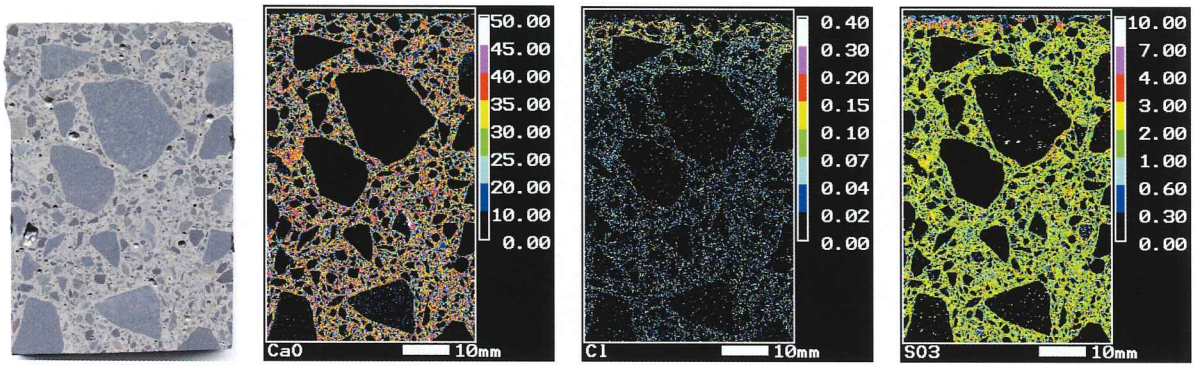


写真 5-2　E50-山側（親不知　暴露材齢 2 年）

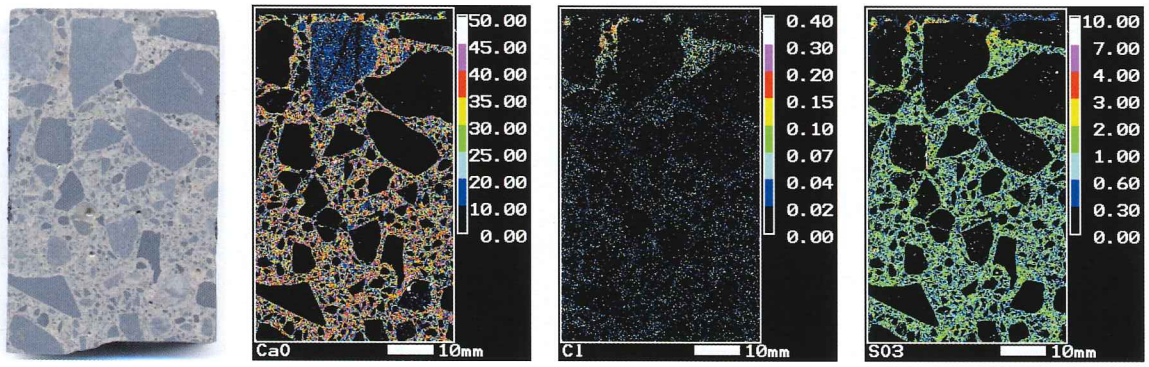


写真 5-3　N50-海側（親不知　暴露材齢 2 年）

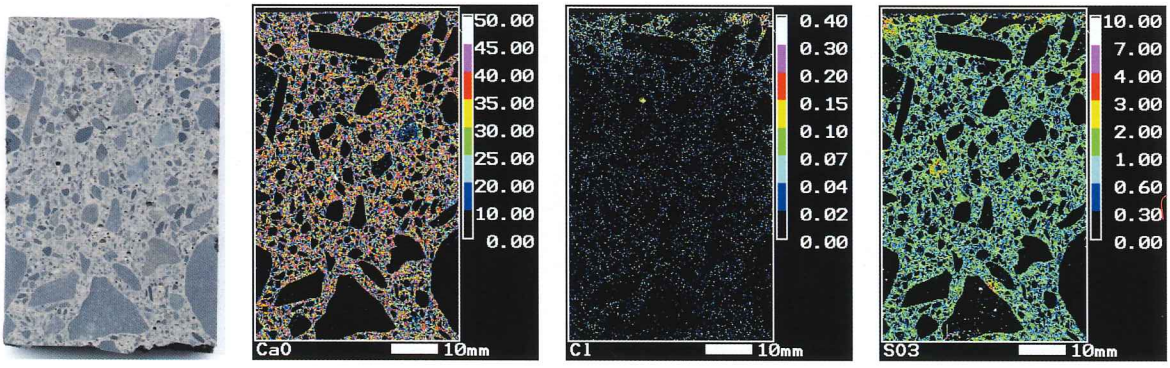


写真 5-4　N50-山側（親不知　暴露材齢 2 年）

資料編

資料1　スランプおよび空気量の経時変化測定結果 ……163
資料2　断熱温度上昇試験結果 ……163
資料3　圧縮強度試験結果（標準養生）……164
資料4　圧縮強度試験結果（標準養生、温度依存性）……173
資料5　曲げ強度試験結果（標準養生）……175
資料6　引張強度試験結果（標準養生）……176
資料7　乾燥収縮試験結果（標準養生）……178
資料8　凍結融解試験結果（標準養生）……180
資料9　促進中性化試験結果（標準養生、養生条件の影響）……182
資料10 促進中性化試験結果（標準養生、水セメント比の影響）……183
資料11 圧縮強度試験結果（標準養生、促進中性化試験　水セメント比の影響）……184
資料12 硬化体空隙率測定結果（標準養生、促進中性化試験　水セメント比の影響）……185
資料13 鉄筋の発錆試験結果（標準養生、乾湿繰返し試験　20サイクル）……185
資料14 鉄筋の発錆試験結果（標準養生、屋外暴露試験）……186
資料15 アルカリ骨材反応性試験結果（モルタルバー法）……186
資料16 塩化物イオン量測定結果（標準養生、屋外暴露試験）……186
資料17 圧縮強度試験結果（蒸気養生）……187
資料18 曲げ強度試験結果（蒸気養生）……189
資料19 乾燥収縮試験結果（蒸気養生）……190
資料20 凍結融解試験結果（蒸気養生）……195
資料21 促進中性化試験結果（蒸気養生、水セメント比の影響）……202
資料22 促進中性化試験結果（蒸気養生、養生条件の影響）……203
資料23 圧縮強度試験結果（蒸気養生、促進中性化試験　養生条件の影響）……203
資料24 硬化体空隙率測定結果（蒸気養生、促進中性化試験　養生条件の影響）……205
資料25 鉄筋の発錆試験結果（蒸気養生、乾湿繰返し試験　20サイクル）……205
資料26 圧縮強度試験（蒸気養生、屋外暴露試験）……206
資料27 中性化試験結果（蒸気養生、屋外暴露試験）……208
資料28 相対動弾性係数測定結果（蒸気養生、屋外暴露試験）……209
資料29 鉄筋の発錆試験結果（蒸気養生、屋外暴露試験）……210
資料30 塩化物イオン量測定結果（蒸気養生、屋外暴露試験）……211
資料31 ひび割れ発生荷重および終局耐力の計算方法 ……212
資料32 フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量測定結果 ……213
資料33 発表論文リスト ……214

資料1　スランプおよび空気量の経時変化測定結果

	目標スランプ	ｾﾒﾝﾄ種類	直後	15分	30分	60分	90分
スランプ	8cm	N	8.0	5.6	5.2	3.2	2.7
		B	8.1	5.5	5.0	3.3	2.0
		E	8.5	6.6	4.8	4.5	4.0
	18cm	N	17.5	14.7	13.9	11.6	10.0
		B	17.0	12.8	11.9	8.2	6.1
		E	18.2	15.7	12.0	11.2	8.6
空気量	8cm	N	4.8	4.3	3.7	3.1	2.7
		B	4.7	3.8	3.3	3.3	2.8
		E	4.7	3.8	3.6	3.0	3.1
	18cm	N	4.8	4.5	4.2	4.0	3.9
		B	4.5	4.0	4.3	3.7	3.0
		E	5.0	4.7	4.3	3.9	3.4

資料2　断熱温度上昇試験結果

単位ｾﾒﾝﾄ量 (kg/m³)	ｾﾒﾝﾄ種類	各材齢における断熱温度上昇量 (℃)											
		0.00	.125	.250	.375	.500	.625	.750	.875	1.00	1.25	1.50	1.75
285	N	0.0	1.2	3.3	7.9	15.1	19.1	22.8	26.2	29.2	33.3	36.0	38.0
	B	0.0	1.0	2.7	5.7	9.2	14.0	17.0	19.6	22.1	26.6	30.4	33.5
	E	0.0	2.2	6.4	12.4	21.7	30.3	32.7	34.3	35.4	37.1	38.4	39.4
320	N	0.0	0.7	2.4	6.7	13.9	19.7	23.8	27.7	31.0	35.5	38.6	41.0
	B	0.0	1.1	3.8	7.4	12.5	16.7	19.8	22.8	25.7	30.7	34.9	38.3
	E	0.0	1.7	5.6	12.1	18.3	31.8	34.9	36.7	38.0	39.9	41.3	42.4

単位ｾﾒﾝﾄ量 (kg/m³)	ｾﾒﾝﾄ種類	各材齢における断熱温度上昇量 (℃)											
		2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
285	N	39.5	40.7	41.6	42.4	43.0	43.9	44.5	45.0	45.4	45.7	45.9	46.1
	B	36.1	38.2	39.8	41.2	42.4	44.3	45.6	46.5	47.1	47.6	48.0	48.3
	E	40.2	40.9	41.6	42.1	42.6	43.4	44.0	44.5	44.9	45.2	45.5	45.7
320	N	42.8	44.1	45.2	46.0	46.6	47.6	48.3	48.8	49.2	49.6	49.8	50.1
	B	40.8	42.8	44.6	46.0	47.1	48.9	49.9	50.7	51.3	51.9	52.3	52.7
	E	43.3	44.2	44.9	45.5	46.1	46.9	47.6	48.1	48.5	48.8	49.1	49.3

単位ｾﾒﾝﾄ量 (kg/m³)	ｾﾒﾝﾄ種類	各材齢における断熱温度上昇量 (℃)							
		7.00	8.00	9.00	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
285	N	46.2	46.4	46.6	46.7	46.7	46.7	46.7	46.8
	B	48.6	49.1	49.5	49.9	50.2	50.5	50.8	51.0
	E	45.9	46.2	46.3	46.5	46.5	46.6	46.8	46.8
320	N	50.3	50.5	50.7	51.0	51.1	51.3	51.4	51.5
	B	53.1	53.7	54.2	54.6	55.0	55.5	55.8	56.1
	E	49.5	49.8	50.0	50.3	50.3	50.4	50.5	50.6

資料3　圧縮強度試験結果（標準養生）

E45-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	192	24.4	24.9	25.9	26.4
	2	199	25.3		27.2	
	3	196	25.0		26.0	
7日	1	193	24.6	24.7	20.9	22.3
	2	195	24.8		22.3	
	3	194	24.7		23.7	
14日	1	350	44.6	44.2	31.8	31.1
	2	347	44.2		30.1	
	3	345	43.9		31.5	
28日	1	382	48.6	49.5	33.1	33.2
	2	390	49.7		32.8	
	3	395	50.3		33.8	
91日	1	461	58.7	58.3	36.4	36.2
	2	459	58.4		36.0	
	3	453	57.7		36.1	
180日	1	477	60.7	60.7	37.6	37.0
	2	481	61.2		36.2	
	3	472	60.1		37.3	
1年	1	474	60.4	60.9	40.9	45.5
	2	481	61.2		50.9	
	3	480	61.1		44.6	
2年	1	451	57.4	59.7	41.1	40.7
	2	454	57.8		41.1	
	3	502	63.9		39.9	

E45-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	193	24.6	24.7	20.9	22.3
	2	195	24.8		22.3	
	3	194	24.7		23.7	
7日	1	268	34.1	34.8	27.5	27.3
	2	276	35.1		26.5	
	3	275	35.0		27.9	
14日	1	330	42.0	41.8	28.9	29.0
	2	328	41.8		29.2	
	3	326	41.5		28.8	
28日	1	375	47.7	47.7	30.3	31.0
	2	379	48.3		31.1	
	3	370	47.1		31.5	
91日	1	453	57.7	57.6	35.8	34.2
	2	459	58.4		32.7	
	3	446	56.8		34.0	
180日	1	470	59.8	59.2	35.1	35.2
	2	468	59.6		34.7	
	3	457	58.2		35.7	
1年	1	481	61.2	59.8	42.3	39.2
	2	467	59.5		37.9	
	3	461	58.7		37.5	
2年	1	458	58.3	59.6	36.0	36.2
	2	486	61.9		36.0	
	3	460	58.6		36.5	

E55-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	131	16.7	16.3	23.6	23.8
	2	129	16.4		23.4	
	3	124	15.8		24.4	
7日	1	178	22.7	23.4	26.7	26.6
	2	187	23.8		26.3	
	3	185	23.6		26.8	
14日	1	248	31.6	30.9	27.7	27.7
	2	239	30.4		28.0	
	3	240	30.6		27.3	
28日	1	270	34.4	35.2	31.0	30.3
	2	273	34.8		31.4	
	3	287	36.5		28.6	
91日	1	342	43.5	43.3	33.6	33.2
	2	337	42.9		33.4	
	3	341	43.4		32.7	
180日	1	346	44.1	44.3	33.4	33.7
	2	346	44.1		33.2	
	3	351	44.7		34.4	
1年	1	361	46.0	45.9	35.4	35.6
	2	363	46.2		35.9	
	3	358	45.6		35.6	
2年	1	366	46.6	46.8	34.6	35.0
	2	360	45.8		36.0	
	3	378	48.1		34.4	

E55-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	126	16.0	16.1	19.9	20.1
	2	127	16.2		20.2	
	3	127	16.2		20.3	
7日	1	178	22.7	22.9	24.5	24.5
	2	182	23.2		24.4	
	3	179	22.8		24.7	
14日	1	220	28.0	28.6	25.3	26.0
	2	225	28.6		26.7	
	3	230	29.3		26.1	
28日	1	277	35.3	34.6	28.7	28.5
	2	272	34.6		28.3	
	3	267	34.0		28.4	
91日	1	330	42.0	41.8	31.2	30.6
	2	332	42.3		30.2	
	3	322	41.0		30.5	
180日	1	328	41.8	42.4	30.0	30.9
	2	335	42.7		31.0	
	3	336	42.8		31.6	
1年	1	324	41.3	43.0	38.5	39.2
	2	350	44.6		40.2	
	3	339	43.2		39.0	
2年	1	328	41.8	43.6	34.0	34.1
	2	352	44.8		33.6	
	3	346	44.1		34.7	

E65-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	85	10.8	10.9	21.3	22.1
	2	85	10.8		22.9	
	3	87	11.1		22.2	
7日	1	126	16.0	16.8	23.0	24.1
	2	131	16.7		24.9	
	3	138	17.6		24.4	
14日	1	177	22.5	22.3	25.6	25.2
	2	173	22.0		24.9	
	3	175	22.3		25.1	
28日	1	213	27.1	27.7	27.0	27.3
	2	217	27.6		27.3	
	3	222	28.3		27.6	
91日	1	263	33.5	33.5	31.1	30.5
	2	266	33.9		30.5	
	3	260	33.1		29.8	
180日	1	273	34.8	34.3	31.2	31.0
	2	265	33.7		32.1	
	3	269	34.3		29.8	
1年	1	278	35.4	35.4	39.0	37.4
	2	275	35.0		33.0	
	3	281	35.8		40.2	
2年	1	286	36.4	35.5	32.2	29.8
	2	272	34.6		24.4	
	3	278	35.4		32.8	

E65-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	94	12.0	11.8	18.9	19.2
	2	93	11.8		20.0	
	3	90	11.5		18.6	
7日	1	130	16.6	16.4	22.7	22.8
	2	130	16.6		22.7	
	3	127	16.2		23.0	
14日	1	164	20.9	20.5	25.4	23.7
	2	155	19.7		21.9	
	3	165	21.0		23.7	
28日	1	207	26.4	26.2	27.5	26.7
	2	207	26.4		26.8	
	3	204	26.0		25.9	
91日	1	246	31.3	31.5	30.3	29.0
	2	248	31.6		28.2	
	3	248	31.6		28.6	
180日	1	255	32.5	32.2	27.0	27.5
	2	251	32.0		28.3	
	3	252	32.1		27.2	
1年	1	262	33.4	32.8	38.8	39.4
	2	254	32.3		41.7	
	3	256	32.6		37.8	
2年	1	262	33.4	33.1	33.8	31.6
	2	260	33.1		29.5	
	3	258	32.8		31.6	

N45-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	218	27.8	27.8	27.8	27.8
	2	216	27.5		29.1	
	3	221	28.1		26.4	
7日	1	330	42.0	40.8	30.2	30.2
	2	316	40.2		29.9	
	3	316	40.2		30.6	
14日	1	378	48.1	47.4	31.9	32.2
	2	370	47.1		32.0	
	3	370	47.1		32.6	
28日	1	397	50.5	51.7	34.1	33.8
	2	412	52.5		34.2	
	3	409	52.1		33.2	
91日	1	475	60.5	60.7	36.2	36.3
	2	477	60.7		35.9	
	3	478	60.9		36.7	
180日	1	508	64.7	63.2	36.6	37.4
	2	504	64.2		38.0	
	3	476	60.6		37.7	
1年	1	515	65.6	65.9	38.7	39.8
	2	517	65.8		39.4	
	3	520	66.2		41.4	
2年	1	518	66.0	67.8	41.1	40.3
	2	537	68.4		40.4	
	3	542	69.0		39.4	

N45-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	217	27.6	27.3	26.2	26.0
	2	214	27.2		26.3	
	3	213	27.1		25.4	
7日	1	299	38.1	39.0	28.8	28.7
	2	307	39.1		-	
	3	312	39.7		28.5	
14日	1	348	44.3	44.8	29.6	30.4
	2	357	45.5		30.8	
	3	351	44.7		30.8	
28日	1	393	50.0	50.7	32.5	32.2
	2	404	51.4		31.5	
	3	397	50.5		32.5	
91日	1	477	60.7	59.7	32.7	34.6
	2	460	58.6		36.0	
	3	470	59.8		35.2	
180日	1	474	60.4	60.9	35.7	35.7
	2	472	60.1		35.0	
	3	488	62.1		36.4	
1年	1	485	61.8	61.2	32.9	33.0
	2	475	60.5		32.0	
	3	482	61.4		34.2	
2年	1	504	64.2	62.8	38.7	38.2
	2	496	63.2		37.9	
	3	480	61.1		37.9	

N55-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	157	20.0	20.0	24.3	23.9
	2	155	19.7		22.2	
	3	159	20.2		25.2	
7日	1	236	30.0	29.8	28.8	28.4
	2	235	29.9		28.2	
	3	232	29.5		28.3	
14日	1	283	36.0	36.1	29.1	29.8
	2	286	36.4		30.4	
	3	282	35.9		29.8	
28日	1	323	41.1	41.0	32.4	31.4
	2	323	41.1		30.9	
	3	321	40.9		30.9	
91日	1	367	46.7	48.0	34.3	34.0
	2	387	49.3		33.3	
	3	376	47.9		34.4	
180日	1	394	50.2	49.9	35.7	35.4
	2	392	49.9		35.0	
	3	389	49.5		35.5	
1年	1	404	51.4	52.0	36.1	37.3
	2	406	51.7		37.1	
	3	415	52.8		38.8	
2年	1	428	54.5	51.5	39.1	38.7
	2	390	49.7		38.9	
	3	396	50.4		38.1	

N55-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	139	17.7	17.7	22.7	23.2
	2	138	17.6		23.6	
	3	140	17.8		23.3	
7日	1	208	26.5	27.1	27.1	27.0
	2	214	27.2		26.9	
	3	216	27.5		26.9	
14日	1	257	32.7	33.3	28.6	28.9
	2	263	33.5		28.4	
	3	264	33.6		29.7	
28日	1	311	39.6	39.2	29.6	29.9
	2	306	39.0		30.1	
	3	307	39.1		30.0	
91日	1	361	46.0	46.2	32.7	33.1
	2	361	46.0		33.7	
	3	367	46.7		32.9	
180日	1	383	48.8	48.5	33.6	33.3
	2	380	48.4		33.4	
	3	379	48.3		33.0	
1年	1	374	47.6	48.9	38.0	38.8
	2	389	49.5		39.5	
	3	390	49.7		38.9	
2年	1	400	50.9	51.3	35.6	35.3
	2	412	52.5		36.0	
	3	396	50.4		34.4	

N65-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	96	12.2	12.7	23.1	22.0
	2	103	13.1		22.3	
	3	101	12.8		20.6	
7日	1	166	21.1	20.7	26.1	26.0
	2	160	20.4		26.1	
	3	162	20.6		25.8	
14日	1	203	25.8	25.7	28.6	28.5
	2	198	25.2		28.6	
	3	205	26.1		28.2	
28日	1	240	30.6	30.7	28.9	29.1
	2	238	30.3		29.4	
	3	244	31.1		29.1	
91日	1	288	36.7	37.5	31.7	32.1
	2	299	38.1		32.1	
	3	296	37.7		32.6	
180日	1	304	38.7	38.8	34.2	33.6
	2	307	39.1		33.3	
	3	303	38.6		33.4	
1年	1	326	41.5	40.6	35.2	34.5
	2	330	42.0		34.7	
	3	300	38.2		33.7	
2年	1	326	41.5	41.4	35.0	35.1
	2	320	40.7		36.2	
	3	330	42.0		34.1	

N65-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	107	13.6	13.0	21.9	21.2
	2	101	12.9		20.9	
	3	99	12.6		20.8	
7日	1	154	19.6	20.4	24.1	24.0
	2	168	21.4		24.0	
	3	158	20.1		23.9	
14日	1	202	25.7	25.6	27.0	26.9
	2	205	26.1		27.4	
	3	197	25.1		26.2	
28日	1	236	30.0	30.7	27.9	29.3
	2	241	30.7		30.7	
	3	247	31.4		29.2	
91日	1	286	36.4	37.2	30.6	30.9
	2	300	38.2		31.0	
	3	290	36.9		31.0	
180日	1	298	37.9	38.3	31.0	31.1
	2	295	37.6		29.8	
	3	309	39.3		32.4	
1年	1	309	39.3	39.1	40.1	39.7
	2	314	40.0		38.7	
	3	298	37.9		40.3	
2年	1	334	42.5	42.0	32.1	32.4
	2	318	40.5		32.9	
	3	338	43.0		32.2	

B45-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	129	16.4	16.4	20.8	20.9
	2	129	16.4		20.8	
	3	129	16.4		21.1	
7日	1	214	27.2	27.0	23.1	23.7
	2	211	26.9		24.9	
	3	212	27.0		23.0	
14日	1	289	36.8	36.5	28.8	27.8
	2	287	36.5		27.7	
	3	285	36.3		27.0	
28日	1	366	46.6	46.0	30.9	31.5
	2	352	44.8		31.6	
	3	367	46.7		31.9	
91日	1	492	62.6	62.3	36.2	36.7
	2	485	61.8		36.2	
	3	490	62.4		37.6	
180日	1	480	61.1	63.9	38.1	38.2
	2	524	66.7		38.2	
	3	502	63.9		38.4	
1年	1	497	63.3	65.5	40.1	39.7
	2	555	70.7		39.4	
	3	490	62.4		39.7	
2年	1	484	61.6	65.4	42.1	41.2
	2	514	65.4		40.5	
	3	544	69.3		40.9	

B45-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	128	16.3	16.5	20.1	19.4
	2	132	16.8		19.4	
	3	129	16.4		18.6	
7日	1	208	26.5	26.9	22.9	22.8
	2	212	27.0		22.5	
	3	213	27.1		22.9	
14日	1	271	34.5	35.3	24.7	25.3
	2	277	35.3		25.4	
	3	283	36.0		25.8	
28日	1	362	46.1	45.8	29.5	29.2
	2	355	45.2		29.2	
	3	362	46.1		28.8	
91日	1	498	63.4	60.0	35.1	34.4
	2	420	53.5		34.5	
	3	496	63.2		33.7	
180日	1	516	65.7	66.6	37.1	36.6
	2	524	66.7		36.6	
	3	530	67.5		36.2	
1年	1	548	69.8	69.2	29.3	30.6
	2	547	69.6		30.8	
	3	536	68.2		31.7	
2年	1	570	72.6	72.0	40.6	39.9
	2	566	72.1		40.2	
	3	560	71.3		38.8	

B55-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	91	11.6	11.6	18.1	18.5
	2	92	11.7		18.6	
	3	91	11.6		18.9	
7日	1	161	20.4	20.2	23.5	22.8
	2	161	20.5		23.0	
	3	154	19.6		21.9	
14日	1	222	28.3	28.2	25.4	26.2
	2	225	28.6		26.8	
	3	217	27.6		26.5	
28日	1	290	36.9	36.6	30.6	30.1
	2	285	36.3		30.4	
	3	287	36.5		29.4	
91日	1	402	51.2	50.7	35.7	34.5
	2	395	50.3		34.0	
	3	397	50.5		33.8	
180日	1	442	56.3	55.0	35.7	36.6
	2	430	54.7		36.6	
	3	424	54.0		37.5	
1年	1	446	56.8	57.0	43.6	42.7
	2	452	57.6		37.2	
	3	444	56.5		47.3	
2年	1	472	60.1	55.6	38.8	39.1
	2	422	53.7		38.4	
	3	416	53.0		40.0	

B55-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	89	11.3	11.3	18.1	18.5
	2	89	11.3		18.4	
	3	89	11.3		16.9	
7日	1	153	19.5	19.3	20.6	20.8
	2	150	19.1		21.1	
	3	152	19.4		20.6	
14日	1	211	26.9	26.4	24.4	24.5
	2	205	26.1		24.8	
	3	206	26.2		24.2	
28日	1	286	36.4	36.7	28.7	28.1
	2	289	36.8		27.4	
	3	289	36.8		-	
91日	1	408	51.9	50.8	33.4	33.4
	2	396	50.4		33.3	
	3	394	50.2		33.6	
180日	1	440	56.0	56.0	35.5	35.8
	2	430	54.7		35.0	
	3	450	57.3		36.8	
1年	1	447	56.9	58.0	31.9	33.2
	2	454	57.8		33.9	
	3	466	59.3		33.7	
2年	1	458	58.3	58.7	37.5	38.8
	2	460	58.6		38.1	
	3	466	59.3		40.7	

B65-8

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	61	7.77	7.85	16.6	17.2
	2	63	8.02		17.5	
	3	61	7.77		17.6	
7日	1	116	14.8	14.7	20.9	20.8
	2	116	14.7		20.7	
	3	114	14.5		20.9	
14日	1	171	21.8	21.9	24.4	24.6
	2	171	21.8		23.9	
	3	174	22.2		25.5	
28日	1	237	30.2	30.3	28.9	28.7
	2	235	29.9		28.8	
	3	242	30.8		28.4	
91日	1	335	42.7	42.7	34.8	33.8
	2	332	42.3		34.0	
	3	338	43.0		32.7	
180日	1	372	47.4	46.3	36.0	35.3
	2	372	47.4		36.5	
	3	346	44.1		33.5	
1年	1	366	46.6	48.0	36.7	36.7
	2	384	48.9		37.7	
	3	380	48.4		35.8	
2年	1	377	48.0	47.1	37.3	38.1
	2	385	49.0		38.9	
	3	349	44.4		38.0	

B65-18

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
3日	1	62	7.89	8.10	15.2	15.1
	2	63	8.02		15.6	
	3	66	8.40		14.6	
7日	1	108	13.8	14.1	18.9	19.1
	2	116	14.8		18.6	
	3	109	13.9		19.7	
14日	1	161	20.5	20.4	23.3	23.4
	2	160	20.4		23.4	
	3	160	20.4		23.5	
28日	1	231	29.4	29.3	26.8	26.7
	2	232	29.5		26.5	
	3	228	29.0		26.8	
91日	1	330	42.0	42.3	32.1	32.4
	2	333	42.4		33.3	
	3	333	42.4		31.9	
180日	1	366	46.6	46.2	35.6	34.9
	2	362	46.1		34.2	
	3	360	45.8		－	
1年	1	385	49.0	48.6	36.2	37.6
	2	384	48.9		37.5	
	3	376	47.9		39.0	
2年	1	410	52.2	51.3	36.3	36.4
	2	408	51.9		37.0	
	3	392	49.9		36.0	

資料4　圧縮強度試験結果（標準養生、温度依存性）

E55-10℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	107	13.6	13.7
	2	109	13.8	
	3	109	13.8	
7日	1	198	25.2	24.4
	2	189	23.9	
	3	190	24.1	
28日	1	267	34.0	34.5
	2	275	34.9	
	3	274	34.6	
91日	1	310	39.5	38.9
	2	302	38.5	
	3	305	38.8	

E55-20℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	138	17.6	18.0
	2	144	18.3	
	3	142	18.1	
7日	1	192	24.4	24.9
	2	199	25.3	
	3	196	25.0	
28日	1	267	34.0	33.7
	2	263	33.5	
	3	264	33.6	
91日	1	285	36.3	36.6
	2	289	36.8	
	3	288	36.7	

E55-30℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	166	21.1	20.9
	2	169	21.4	
	3	160	20.3	
7日	1	209	26.6	26.1
	2	203	25.7	
	3	205	26.0	
28日	1	257	32.8	33.2
	2	258	32.8	
	3	270	34.2	
91日	1	272	34.6	33.4
	2	252	32.1	
	3	263	33.5	

N55-10℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	97	12.3	12.3
	2	97	12.3	
	3	97	12.3	
7日	1	186	23.7	23.2
	2	181	22.9	
	3	182	23.0	
28日	1	285	36.0	35.9
	2	279	35.5	
	3	283	36.0	
91日	1	348	44.3	44.6
	2	351	44.7	
	3	352	44.8	

N55－20℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	138	17.6	17.8
	2	141	18.0	
	3	140	17.8	
7日	1	199	25.3	25.7
	2	203	25.8	
	3	203	25.8	
28日	1	281	35.8	35.3
	2	283	36.0	
	3	268	34.1	
91日	1	320	40.7	41.2
	2	324	41.3	
	3	326	41.5	

N55－30℃

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
3日	1	168	21.3	21.1
	2	167	21.1	
	3	166	21.0	
7日	1	207	26.3	26.2
	2	208	26.4	
	3	205	25.9	
28日	1	282	35.7	35.8
	2	283	36.0	
	3	282	35.7	
91日	1	314	40.0	39.6
	2	312	39.7	
	3	307	39.1	

資料5　曲げ強度試験結果（標準養生）

材齢28日

セメント種類：普通エコセメント

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
E45-8	1	21.7	6.39	5.90
	2	18.6	5.56	
	3	19.5	5.75	
E55-8	1	18.1	5.32	5.20
	2	16.9	4.96	
	3	17.8	5.32	
E65-8	1	15.0	4.45	4.24
	2	14.3	4.19	
	3	13.7	4.07	
E45-18	1	19.90	5.79	5.70
	2	20.40	5.97	
	3	18.25	5.34	
E55-18	1	18.50	5.50	5.13
	2	17.90	5.29	
	3	15.65	4.62	
E65-18	1	16.05	4.78	4.81
	2	16.25	4.82	
	3	16.35	4.82	

セメント種類：普通ポルトランドセメント

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
N45-8	1	22.00	6.49	6.62
	2	22.50	6.69	
	3	22.40	6.67	
N55-8	1	20.30	5.90	5.84
	2	20.00	5.84	
	3	19.60	5.79	
N65-8	1	15.95	4.68	5.20
	2	18.30	5.44	
	3	18.60	5.48	
N45-18	1	20.65	5.99	6.45
	2	23.00	6.79	
	3	22.50	6.58	
N55-18	1	19.80	5.78	5.77
	2	19.20	5.68	
	3	20.25	5.87	
N65-18	1	16.80	4.95	4.93
	2	16.55	4.91	
	3	16.50	4.94	

セメント種類：高炉セメントB種

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm²)	平均 (N/mm²)
B45-8	1	22.00	6.45	6.49
	2	22.20	6.54	
	3	22.10	6.48	
B55-8	1	18.20	5.36	5.29
	2	17.60	5.25	
	3	17.50	5.27	
B65-8	1	16.70	4.99	4.89
	2	16.10	4.82	
	3	16.10	4.85	
B45-18	1	22.55	6.66	6.74
	2	23.80	7.00	
	3	22.10	6.55	
B55-18	1	17.45	5.16	5.49
	2	20.40	6.01	
	3	17.80	5.31	
B65-18	1	20.00	5.89	5.48
	2	18.40	5.44	
	3	17.30	5.10	

資料6　引張強度試験結果（標準養生）

材齢28日

セメント種類：普通エコセメント

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm²)	平均 (N/mm²)
E45-8	1	167.0	3.50	3.39
	2	163.0	3.44	
	3	154.0	3.24	
E55-8	1	150.0	3.14	3.17
	2	152.0	3.21	
	3	150.0	3.17	
E65-8	1	117.0	2.47	2.46
	2	122.0	2.56	
	3	113.0	2.37	
E45-18	1	167.0	3.50	3.39
	2	163.0	3.44	
	3	154.0	3.24	
E55-18	1	150.0	3.14	3.17
	2	152.0	3.21	
	3	150.0	3.17	
E65-18	1	117.0	2.47	2.46
	2	122.0	2.56	
	3	113.0	2.37	

セメント種類：普通ポルトランドセメント

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
N45-8	1	157.5	3.18	3.74
	2	196.5	4.06	
	3	194.0	4.00	
N55-8	1	144.5	3.05	3.35
	2	177.0	3.69	
	3	155.0	3.32	
N65-8	1	142.5	2.94	2.83
	2	138.5	2.80	
	3	133.0	2.76	
N45-18	1	189.5	3.99	3.90
	2	186.0	3.90	
	3	181.0	3.81	
N55-18	1	161.0	3.36	3.19
	2	140.0	2.91	
	3	159.5	3.30	
N65-18	1	137.0	2.88	2.91
	2	133.0	2.81	
	3	146.0	3.02	

セメント種類：高炉セメントB種

試料名	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
B45-8	1	185.0	3.72	3.71
	2	187.0	3.88	
	3	168.0	3.53	
B55-8	1	165.0	3.32	3.20
	2	150.0	3.13	
	3	156.0	3.15	
B65-8	1	131.0	2.66	2.70
	2	126.0	2.55	
	3	138.0	2.88	
B45-18	1	171.0	3.50	3.49
	2	184.0	3.76	
	3	154.0	3.22	
B55-18	1	138.0	2.90	2.77
	2	138.5	2.91	
	3	117.0	2.49	
B65-18	1	119.5	2.50	2.49
	2	131.5	2.72	
	3	107.5	2.26	

資料7　乾燥収縮試験結果（標準養生）

試験体種別：E55-8

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量変化率（%）
基長	0.000	9642	0.000	0.000	9642	0.000	0.000	9606	0.000	0.000	0.000
3d	-1.323	9525	-1.213	-1.382	9530	-1.162	-1.441	9493	-1.176	-1.382	-1.184
1w	-1.882	9481	-1.670	-1.852	9486	-1.618	-1.970	9446	-1.666	-1.902	-1.651
2w	-2.618	9442	-2.074	-2.529	9444	-2.054	-2.529	9402	-2.124	-2.558	-2.084
4w	-3.676	9408	-2.427	-3.823	9409	-2.417	-3.999	9367	-2.488	-3.833	-2.444
8w	-5.176	9382	-2.697	-5.175	9383	-2.686	-5.646	9340	-2.769	-5.332	-2.717
13w	-5.794	9368	-2.842	-5.998	9368	-2.842	-5.969	9326	-2.915	-5.921	-2.866
26w	-6.823	9355	-2.977	-6.998	9355	-2.977	-6.851	9313	-3.050	-6.891	-3.001

試験体種別：N55-8

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量変化率（%）
基長	0.000	9637	0.000	0.000	9602	0.000	0.000	9670	0.000	0.000	0.000
3d	-0.062	9549	-0.913	-0.056	9510	-0.958	-0.051	9574	-0.993	-1.657	-0.955
1w	-0.090	9513	-1.287	-0.070	9477	-1.302	-0.078	9538	-1.365	-2.334	-1.318
2w	-0.102	9479	-1.640	-0.092	9477	-1.302	-0.083	9538	-1.365	-2.716	-1.435
4w	-0.149	9448	-1.961	-0.155	9414	-1.958	-0.147	9479	-1.975	-4.422	-1.965
8w	-0.205	9421	-2.241	-0.208	9388	-2.229	-0.196	9453	-2.244	-5.972	-2.238
13w	-0.226	9406	-2.397	-0.237	9372	-2.395	-0.223	9438	-2.399	-6.727	-2.397
26w	-0.263	9388	-2.584	-0.262	9355	-2.572	-0.244	9421	-2.575	-7.540	-2.577

試験体種別：B55-8

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量（g）	質量変化率（%）	長さ変化率（×10^{-4}）	質量変化率（%）
基長	0.000	9518	0.000	0.000	9511	0.000	0.000	9635	0.000	0.000	0.000
3d	-1.735	9431	-0.914	-1.382	9420	-0.957	-1.559	9544	-0.944	-1.559	-0.938
1w	-2.911	9397	-1.271	-2.558	9389	-1.283	-2.617	9510	-1.297	-2.696	-1.284
2w	-3.294	9370	-1.555	-3.352	9363	1.556	-3.235	9485	-1.557	-3.294	-1.556
4w	-4.735	9346	-1.807	-1.617	9339	-1.808	-4.617	9462	-1.796	-3.656	-1.804
8w	-6.205	9325	-2.028	-5.793	9319	-2.019	-6.352	9442	-2.003	-6.117	-2.017
13w	-7.028	9312	-2.164	-6.676	9306	-2.155	-6.675	9429	-2.138	-6.793	-2.153
26w	-7.411	9297	-2.322	-7.558	9291	-2.313	-7.117	9415	-2.283	-7.362	-2.306

試験体種別：E55-18

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.000	9476	0.000	0.000	9510	0.000	0.000	9518	0.000	0.000	0.000
3d	-1.441	9356	-1.266	-1.529	9391	-1.251	-1.029	9388	-1.366	-1.333	-1.295
1w	-2.088	9306	-1.794	-1.881	9342	-1.767	-1.682	9344	-1.828	-1.884	-1.796
2w	-2.705	9261	2.269	-2.616	9298	-2.229	-2.382	9303	-2.259	-2.568	-2.252
4w	-3.999	9224	-2.659	-4.145	9256	-2.671	-3.587	9267	-2.637	-3.910	-2.656
8w	-5.498	9196	-2.955	-5.850	9225	-2.997	-4.852	9240	-2.921	-5.400	-2.957
13w	-6.087	9181	-3.113	-6.379	9209	-3.165	-5.528	9225	-3.078	-5.998	-3.119
26w	-6.910	9167	-3.261	-7.144	9195	-3.312	-6.145	9211	-3.225	-6.733	-3.266

試験体種別：N55-18

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.000	9574	0.000	0.000	9511	0.000	0.000	9551	0.000	0.000	0.000
3d	-0.941	9478	-1.003	-1.559	9414	-1.020	-2.088	9454	-1.016	-1.529	-1.013
1w	-1.912	9436	-1.441	-2.029	9372	-1.461	-2.588	9415	-1.424	-2.176	-1.442
2w	-2.353	9402	-1.797	-2.676	9337	-1.829	-3.087	9381	-1.780	-2.705	-1.802
4w	-4.088	9370	-2.131	-4.235	9303	-2.187	-4.734	9348	-2.125	-4.352	-2.148
8w	-5.794	9342	-2.423	-6.088	9275	-2.481	-6.057	9319	-2.429	-5.980	-2.445
13w	-6.559	9324	-2.611	-6.587	9257	-2.671	-7.380	9301	-2.618	-6.842	-2.633
26w	-7.529	9305	-2.810	-7.999	9237	-2.881	-8.409	9281	-2.827	-7.979	-2.839

試験体種別：B55-18

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.000	9454	0.000	0.000	9460	0.000	0.000	9425	0.000	0.000	0.000
3d	-1.206	9356	-1.037	-1.911	9364	-1.015	-1.206	9323	-1.082	-1.441	-1.045
1w	-2.088	9312	-1.502	-2.735	9324	-1.438	-1.999	9286	-1.475	-2.274	-1.471
2w	-2.970	9280	-1.840	-3.734	9293	-1.765	-2.882	9254	-1.814	-3.195	-1.807
4w	-4.470	9254	-2.116	-5.087	9267	-2.040	-4.411	9229	-2.080	-4.656	-2.078
8w	-5.793	9232	-2.348	-6.351	9245	-2.273	-5.969	9207	-2.313	-6.038	-2.311
13w	-6.822	9218	-2.496	-7.321	9231	-2.421	-6.851	9194	-2.451	-6.998	-2.456
26w	-7.792	9203	-2.655	-8.615	9215	-2.590	-7.851	9179	-2.610	-8.086	-2.618

資料 8　凍結融解試験結果（標準養生）

試験体種別：E55-8

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2138	100.0	9650	0.00	2142	100.0	9638	0.00	2125	100.0	9639	0.00	100.0	0.00
30	2138	100.0	9645	-0.05	2144	100.2	9645	0.07	2125	100.0	9645	0.06	100.1	0.03
60	2143	100.5	9656	0.06	2147	100.5	9645	0.07	2130	100.5	9642	0.03	100.5	0.06
90	2131	99.3	9647	-0.03	2133	99.2	9637	-0.01	2111	98.7	9630	-0.09	99.1	-0.04
120	2146	100.7	9637	-0.13	2143	100.1	9628	-0.10	2123	99.8	9621	-0.19	100.2	-0.14
150	2145	100.7	9618	-0.33	2145	100.3	9612	-0.27	2124	99.9	9605	-0.35	100.3	-0.32
180	2155	101.6	9606	-0.46	2144	100.2	9593	-0.47	2129	100.4	9588	-0.53	100.7	-0.48
200	2146	100.7	9575	-0.78	2154	101.1	9566	-0.75	2117	99.2	9555	-0.87	100.4	-0.80

試験体種別：N55-8

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2170	100.0	9628	0.00	2181	100.0	9595	0.00	2186	100.0	9681	0.00	100.0	0.00
30	2146	97.8	9630	0.02	2155	97.6	9597	0.02	2169	98.5	9683	0.02	98.0	0.02
60	2155	98.6	9613	-0.16	2139	96.2	9580	-0.16	2169	98.5	9666	-0.15	97.8	-0.16
90	2139	97.2	9583	-0.47	2144	96.6	9548	-0.49	2155	97.2	9635	-0.48	97.0	-0.48
120	2149	98.1	9563	-0.68	2149	97.1	9530	-0.68	2160	97.6	9617	-0.66	97.6	-0.67
150	2144	97.6	9542	-0.89	2145	96.7	9505	-0.94	2151	96.8	9590	-0.94	97.1	-0.92
180	2148	98.0	9517	-1.15	2130	95.4	9479	-1.21	2144	96.2	9569	-1.16	96.5	-1.17
200	2146	97.8	9481	-1.53	2133	95.6	9445	-1.56	2144	96.2	9533	-1.53	96.5	-1.54

試験体種別：B55-8

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2036	100.0	9574	0.00	2063	100.0	9550	0.00	2075	100.0	9503	0.00	100.0	0.00
30	2039	100.3	9573	-0.01	2065	100.2	9551	0.01	2080	100.5	9503	0.00	100.3	0.00
60	2041	100.5	9563	-0.11	2067	100.4	9543	-0.07	2088	101.3	9497	-0.06	100.7	-0.08
90	2039	100.3	9546	-0.29	2065	100.2	9527	-0.24	2078	100.3	9484	-0.20	100.3	-0.24
120	2055	101.9	9530	-0.46	2075	101.2	9518	-0.34	2094	101.8	9469	-0.36	101.6	-0.38
150	2062	102.6	9518	-0.58	2091	102.7	9508	-0.44	2100	102.4	9458	-0.47	102.6	-0.50
180	2062	102.6	9508	-0.69	2084	102.0	9498	-0.54	2099	102.3	9450	-0.56	102.3	-0.59
200	2075	103.9	9498	-0.79	2096	103.2	9488	-0.65	2112	103.6	9439	-0.67	103.6	-0.71

試験体種別：E55-18

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2069	100.0	9440	0.00	2061	100.0	9467	0.00	2068	100.0	9520	0.00	100	0.00
30	2073	100.4	9447	0.07	2068	100.7	9477	0.11	2074	100.6	9528	0.08	100.5	0.09
60	2087	101.7	9450	0.11	2088	102.6	9473	0.06	2078	101.0	9530	0.11	101.8	0.09
90	2080	101.1	9447	0.07	2069	100.8	9459	-0.08	2072	100.4	9524	0.04	100.7	0.01
120	2075	100.6	9446	0.06	2081	120.0	9454	-0.14	2081	101.3	9511	-0.09	101.3	-0.06
150	2099	102.9	9439	-0.01	2081	102.0	9441	-0.27	2083	101.5	9488	-0.34	102.1	-0.21
180	2095	102.5	9422	-0.19	2086	102.4	9430	-0.39	2087	101.8	9472	-0.50	102.3	-0.36
200	2098	102.8	9405	-0.37	2087	102.5	9407	-0.63	2090	102.1	9443	-0.81	102.5	-0.60

試験体種別：N55-18

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2137	100.0	9567	0.00	2157	100.0	9492	0.00	2125	100.0	9458	0.00	100.0	0.00
30	2110	97.5	9568	0.01	2131	97.6	9491	-0.01	2104	98.0	9460	0.02	97.7	0.01
60	2090	95.6	9554	-0.14	2116	96.2	9477	-0.16	2093	97.0	9457	-0.01	96.3	-0.10
90	2083	95.0	9518	-0.51	2106	95.3	9455	-0.39	2086	96.4	9440	-0.19	95.6	-0.36
120	2088	95.5	9495	-0.75	2108	95.5	9438	-0.57	2096	97.3	9426	-0.34	96.1	-0.55
150	2094	96.0	9466	-1.06	2103	95.1	9411	-0.85	2086	96.4	9402	-0.59	95.8	-0.83
180	2075	94.3	9433	-1.40	2083	93.3	9384	-1.14	2082	96.0	9380	-0.82	94.5	-1.12
200	2069	93.7	9398	-1.77	2084	93.3	9354	-1.45	2077	95.5	9354	-1.10	94.2	-1.44

試験体種別：B55-18

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2010	100.0	9471	0.00	1990	100.0	9484	0.00	2010	100.0	9511	0.00	100.0	0.00
30	2010	100.0	9470	-0.01	2000	101.0	9485	0.01	2014	100.4	9511	0.00	100.5	0.00
60	2016	100.6	9462	-0.10	1997	100.7	9472	-0.13	2025	101.5	9509	-0.02	100.9	-0.08
90	2009	99.9	9440	-0.33	2003	101.3	9449	-0.37	2017	100.7	9498	-0.14	100.6	-0.28
120	2022	101.2	9426	-0.48	2009	101.9	9432	-0.55	2034	102.4	9485	-0.27	101.8	-0.43
150	2025	101.5	9412	-0.62	2015	102.5	9412	-0.76	2043	103.3	9470	-0.43	102.4	-0.60
180	2022	101.2	9398	-0.77	2017	102.7	9395	-0.94	2044	103.4	9458	-0.56	102.4	-0.76
200	2026	101.6	9382	-0.94	2014	102.4	9378	-1.12	2041	103.1	9445	-0.69	102.4	-1.32

資料9　促進中性化試験結果（標準養生、養生条件の影響）

養生期間：14日

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E55-8	1	0.00	0.00	5.29	5.45	12.07	12.64	16.14	16.18	18.74	19.14	26.90	27.08
	2	0.00		5.62		13.21		16.22		19.55		27.27	
N55-8	1	0.00	0.00	4.55	4.28	10.03	9.73	12.69	11.88	14.19	14.42	17.46	17.31
	2	0.00		4.01		9.43		11.06		14.66		17.17	
B55-8	1	0.00	0.00	5.61	5.48	13.35	13.58	18.60	18.30	23.16	22.48	30.18	30.75
	2	0.00		5.35		13.81		18.00		21.81		31.32	
E55-18	1	0.00	0.00	5.40	5.31	12.73	12.04	15.79	15.73	20.82	20.02	26.10	26.59
	2	0.00		5.22		11.35		15.66		19.21		27.09	
N55-18	1	0.00	0.00	4.44	4.49	9.70	9.39	11.54	11.93	14.77	14.71	18.00	18.66
	2	0.00		4.54		9.08		12.33		14.65		19.32	
B55-18	1	0.00	0.00	5.58	5.77	13.03	13.64	18.64	19.06	23.26	23.07	29.39	31.07
	2	0.00		5.96		14.25		19.47		22.88		32.75	

養生期間：28日

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E55-8	1	0.00	0.00	4.60	4.75	10.68	10.38	14.62	14.86	18.58	17.89	26.69	26.07
	2	0.00		4.90		10.08		15.11		17.20		25.45	
N55-8	1	0.00	0.00	4.51	4.34	9.39	9.51	12.08	12.50	13.50	13.59	19.32	18.80
	2	0.00		4.17		9.62		12.92		13.68		18.28	
B55-8	1	0.00	0.00	5.87	5.59	12.21	12.60	17.47	17.62	19.66	19.87	28.82	29.02
	2	0.00		5.30		12.99		17.78		20.08		29.22	
E55-18	1	0.00	0.00	3.31	3.42	9.64	9.73	13.64	13.71	16.51	16.86	26.13	25.93
	2	0.00		3.53		9.82		13.77		17.21		25.73	
N55-18	1	0.00	0.00	4.73	4.41	9.60	9.12	11.92	11.72	14.17	13.73	20.42	19.37
	2	0.00		4.10		9.19		11.51		13.29		18.32	
B55-18	1	0.00	0.00	7.73	6.05	10.36	10.47	15.13	15.43	17.92	18.09	26.21	26.24
	2	0.00		4.36		10.58		15.74		18.25		26.27	

資料10　促進中性化試験結果（標準養生、水セメント比の影響）

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E45-8	1	0.00	0.00	0.52	0.88	2.77	3.05	6.84	7.10	10.10	9.73	12.62	13.20
	2	0.00		1.25		3.34		7.35		9.36		13.78	
E55-8	1	0.00	0.00	2.65	2.84	7.96	8.08	10.87	11.42	15.57	15.68	23.06	22.44
	2	0.00		3.03		8.20		11.96		15.78		21.81	
E65-8	1	0.00	0.00	6.78	6.60	12.69	12.12	16.92	18.18	23.82	24.07	34.66	35.19
	2	0.00		6.42		11.55		19.44		24.32		35.72	
N45-8	1	0.00	0.00	0.72	0.79	2.26	1.62	5.37	5.27	7.14	6.65	7.48	8.18
	2	0.00		0.87		0.99		5.17		6.15		8.89	
N55-8	1	0.00	0.00	2.45	2.54	5.15	5.03	8.67	8.57	10.89	10.89	15.90	15.54
	2	0.00		2.64		4.91		8.47		10.90		15.18	
N65-8	1	0.00	0.00	5.42	5.53	9.46	9.21	12.63	12.72	15.41	16.25	22.51	22.64
	2	0.00		5.64		8.97		12.80		17.09		22.76	
E45-18	1	0.00	0.00	0.95	1.59	4.54	3.59	7.18	6.19	10.84	10.33	13.83	13.64
	2	0.00		2.23		2.63		5.21		9.82		13.45	
E55-18	1	0.00	0.00	3.31	3.79	9.42	9.04	12.32	12.63	16.46	17.02	22.68	23.20
	2	0.00		4.27		8.66		12.95		17.58		23.72	
E65-18	1	0.00	0.00	7.04	7.23	13.52	14.23	18.92	19.54	27.38	26.59	37.80	37.55
	2	0.00		7.41		14.94		20.17		25.79		37.29	
N45-18	1	0.00	0.00	0.57	0.51	1.14	1.64	4.19	4.10	5.81	6.05	6.76	6.86
	2	0.00		0.45		2.14		4.01		6.29		6.96	
N55-18	1	0.00	0.00	3.49	3.26	5.13	5.06	7.07	7.13	9.47	10.18	12.24	12.98
	2	0.00		3.03		4.98		7.19		10.89		13.73	
N65-18	1	0.00	0.00	3.94	4.35	7.91	8.20	10.87	11.41	16.64	16.31	21.19	20.37
	2	0.00		4.77		8.48		11.95		15.98		19.55	

資料11　圧縮強度試験結果（標準養生、促進中性化試験　水セメント比の影響）

材齢28日

試料名	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
E45-8	1	395	50.3	50.9
	2	404	51.4	
	3	401	51.1	
E55-8	1	288	36.7	37.6
	2	295	37.6	
	3	302	38.5	
E65-8	1	215	27.4	26.8
	2	206	26.2	
	3	210	26.7	
N45-8	1	389	49.5	49.1
	2	387	49.3	
	3	381	48.5	
N55-8	1	325	41.4	41.3
	2	332	42.3	
	3	316	40.2	
N65-8	1	243	30.9	32.0
	2	252	32.1	
	3	259	33.0	
E45-18	1	371	47.2	47.5
	2	374	47.6	
	3	374	47.6	
E55-18	1	258	32.8	34.6
	2	273	34.8	
	3	284	36.2	
E65-18	1	193	24.6	24.6
	2	195	24.8	
	3	192	24.4	
N45-18	1	407	51.8	52.1
	2	410	52.2	
	3	411	52.3	
N55-18	1	326	41.5	41.4
	2	321	40.9	
	3	328	41.8	
N65-18	1	256	32.6	32.2
	2	251	32.0	
	3	251	32.0	

資料12　硬化体空隙率測定結果（標準養生、促進中性化試験　水セメント比の影響）

中性化試験終了後　未中性化部分

セメント種類	W/C (%)	全空隙率 (%)
E	45	16.32
	55	18.62
	65	19.55
N	45	15.87
	55	16.05
	65	18.70

資料13　鉄筋の発錆試験結果（標準養生、乾湿繰返し試験　20サイクル）

試験水準	供試体No.	鉄筋位置	発錆面積率(%)	
			かぶり 1cm	かぶり 2cm
E55	1	打設面	0.00	0.00
		底面	0.00	0.00
	2	打設面	2.74	0.00
		底面	0.00	0.00
N55	1	打設面	0.00	0.00
		底面	0.00	0.00
	2	打設面	0.91	0.06
		底面	0.00	0.00

資料14　鉄筋の発錆試験結果（標準養生、屋外暴露試験）

暴露材齢	試験水準	供試体No.	鉄筋位置	発錆面積率(%)			
				茨城県つくば市		新潟県親不知	
				かぶり 1cm	かぶり 2cm	かぶり 1cm	かぶり 2cm
1年	E55	1	打設面	0.00	0.00	5.25	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.74	0.00	0.74	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	N55	1	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.46	0.00
2年	E55	1	打設面	0.23	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.00	0.00	0.11	0.00
			底面	0.55	0.00	0.00	0.00
	N55	1	打設面	0.57	0.00	5.17	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	2.54	0.00	9.73	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00

資料15　アルカリ骨材反応性試験結果（モルタルバー法）

セメント種類	骨材種類	膨張率（%）					
		脱型時	2週間	4週間	8週間	3ヶ月	6ヶ月
E	Ⅰ	0.000	0.003	0.014	0.014	0.014	0.015
	Ⅱ	0.000	0.004	0.011	0.013	0.014	0.014
N	Ⅰ	0.000	0.004	0.012	0.017	0.022	0.022
	Ⅱ	0.000	0.005	0.014	0.014	0.016	0.015

資料16　塩化物イオン量測定結果（標準養生、屋外暴露試験）

			塩化物イオン量（kg/m³）				
			0～1cm	1～2cm	2～3cm	3～5cm	5～7.5cm
1年	親不知	E55-8	0.552	0.322	0.207	0.207	0.207
		N55-8	0.414	0.115	0.161	0.046	0.115
	つくば	E55-8	0.322	—	—	—	0.253
		N55-8	0.161	—	—	—	0.138
2年	親不知海側	E55-8	0.598	0.391	0.276	0.230	0.230
		N55-8	0.598	0.138	0.069	0.069	0.046
	親不知山側	E55-8	0.736	0.345	0.230	0.184	0.230
		N55-8	0.506	0.115	0.046	0.069	0.046
	つくば	E55-8	0.138	—	—	—	0.230
		N55-8	0.138	—	—	—	0.046

資料17　圧縮強度試験結果（蒸気養生）

E35

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	323	41.1	41.3	27.1	26.4
	2	322	41.0		25.8	
	3	329	41.8		26.3	
14日	1	431	54.9	54.2	31.3	29.6
	2	412	52.5		26.8	
	3	433	55.1		30.6	

E40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	237	30.2	28.6	24.1	23.6
	2	206	26.3		23.0	
	3	230	29.3		23.8	
14日	1	343	43.7	42.8	23.6	25.8
	2	318	40.4		26.8	
	3	347	44.2		26.9	

E45

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	194	24.6	25.1	21.1	22.8
	2	193	24.6		23.1	
	3	204	26.0		24.1	
14日	1	300	38.2	36.9	26.9	26.0
	2	282	35.9		24.0	
	3	287	36.6		27.2	

E50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	150	19.0	19.8	20.1	20.6
	2	155	19.7		21.4	
	3	162	20.7		20.3	
14日	1	242	30.8	31.4	25.3	25.1
	2	246	31.3		24.5	
	3	251	32.0		25.5	

E55

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	135	17.1	18.1	26.0	25.1
	2	139	17.8		25.7	
	3	152	19.3		23.7	
14日	1	237	30.2	30.6	25.7	27.1
	2	243	31.0		27.7	
	3	239	30.4		27.9	

N35

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	332	42.3	39.0	31.1	31.1
	2	293	37.3		30.6	
	3	294	37.5		31.5	
14日	1	394	50.1	51.0	30.7	31.9
	2	405	51.6		32.8	
	3	403	51.4		32.2	

N40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	262	33.3	32.6	28.6	26.5
	2	259	33.3		26.2	
	3	247	31.5		24.6	
14日	1	353	44.9	45.2	34.6	32.8
	2	345	43.9		32.5	
	3	367	46.7		31.3	

N45

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	196	25.0	25.1	27.5	26.6
	2	193	24.6		27.1	
	3	200	25.5		25.1	
14日	1	271	34.5	37.1	29.4	27.7
	2	291	37.0		27.6	
	3	313	39.8		26.1	

N50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	158	20.1	20.9	24.1	23.0
	2	164	20.8		19.5	
	3	171	21.7		25.4	
14日	1	241	30.7	33.6	26.1	27.2
	2	273	34.7		28.2	
	3	277	35.3		27.2	

N55

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
1日	1	155	19.8	19.8	26.2	23.4
	2	155	19.7		24.1	
	3	158	20.1		19.9	
14日	1	251	31.9	33.2	28.1	28.1
	2	279	35.5		27.7	
	3	252	32.1		28.5	

資料 18　曲げ強度試験結果（蒸気養生）

E50

材齢	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
1 日	1	12. 50	3. 76	3. 66
	2	12. 50	3. 70	
	3	11. 80	3. 52	
14 日	1	14. 25	4. 20	4. 00
	2	12. 75	3. 86	
	3	13. 25	3. 94	

E40

材齢	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
1 日	1	17. 10	5. 07	4. 54
	2	14. 50	4. 30	
	3	14. 50	4. 26	
14 日	1	15. 00	4. 45	4. 55
	2	14. 25	4. 28	
	3	16. 00	4. 91	

N50

材齢	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
1 日	1	12. 20	3. 71	3. 91
	2	12. 90	4. 06	
	3	13. 30	3. 97	
14 日	1	12. 50	3. 74	3. 96
	2	13. 00	3. 88	
	3	14. 25	4. 27	

N40

材齢	番号	最大荷重 P (kN)	曲げ強度 σ_b (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)
1 日	1	15. 70	4. 71	4. 74
	2	15. 60	4. 66	
	3	16. 00	4. 84	
14 日	1	12. 50	3. 74	3. 91
	2	13. 25	4. 12	
	3	12. 75	3. 86	

資料19　乾燥収縮試験結果(蒸気養生)

試験体種別：E35

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9536	0.00	0.00	9511	0.00	0.00	9518	0.00	0.00	0.00
2w	-1.44	9473	-0.67	-1.35	9449	-0.66	-1.32	9457	-0.65	-1.37	-0.66
17d	-1.73	9470	-0.70	-1.56	9446	-0.69	-1.50	9454	-0.68	-1.60	-0.69
3w	-1.85	9465	-0.75	-1.71	9441	-0.74	-1.73	9448	-0.74	-1.76	-0.74
4w	-2.32	9457	-0.83	-2.18	9435	-0.80	-2.12	9443	-0.79	-2.21	-0.81
6w	-3.09	9450	-0.91	-2.88	9427	-0.89	-2.82	9434	-0.89	-2.93	-0.90
10w	-3.41	9441	-1.00	-3.26	9418	-0.98	-3.29	9425	-0.98	-3.32	-0.99
15w	-3.88	9437	-1.04	-3.91	9414	-1.02	-3.62	9421	-1.02	-3.80	-1.03
28w	-4.71	9428	-1.13	-4.82	9405	-1.11	-4.53	9412	-1.11	-4.68	-1.12
41w	-4.59	9424	-1.17	-4.85	9402	-1.15	-4.59	9407	-1.17	-4.68	-1.16
54w	-4.56	9421	-1.21	-4.79	9399	-1.18	-4.65	9403	-1.21	-4.67	-1.20

試験体種別：E40

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9289	0.00	0.00	9378	0.00	0.00	9453	0.00	0.00	0.00
2w	-1.29	9212	-0.84	-1.85	9298	-0.86	-2.09	9372	-0.86	-1.75	-0.85
17d	-1.47	9206	-0.90	-2.00	9292	-0.92	-2.26	9366	-0.93	-1.91	-0.92
3w	-1.68	9198	-0.99	-2.26	9284	-1.01	-2.41	9359	-1.00	-2.12	-1.00
4w	-2.03	9188	-1.10	-2.74	9275	-1.11	-2.88	9350	-1.10	-2.55	-1.10
6w	-2.82	9175	-1.24	-3.29	9262	-1.25	-3.62	9337	-1.24	-3.24	-1.24
10w	-3.44	9162	-1.38	-4.03	9249	-1.39	-4.26	9324	-1.38	-3.91	-1.38
15w	-4.12	9157	-1.42	-4.88	9244	-1.43	-4.85	9319	-1.42	-4.62	-1.42
28w	-4.76	9147	-1.53	-5.26	9232	-1.56	-5.18	9309	-1.52	-5.07	-1.54
41w	-4.88	9142	-1.58	-5.41	9228	-1.60	-5.30	9304	-1.58	-5.20	-1.59
54w	-4.03	9138	-1.63	-5.50	9224	-1.64	-5.47	9301	-1.61	-5.33	-1.63

試験体種別：E45

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9351	0.00	0.00	9229	0.00	0.00	9380	0.00	0.00	0.00
2w	-0.94	9256	-1.03	-1.38	9131	-1.07	-1.35	9284	-1.03	-1.23	-1.04
17d	-1.09	9248	-1.11	-1.50	9123	-1.16	-1.53	9277	-1.11	-1.37	-1.13
3w	-1.24	9239	-1.21	-1.71	9115	-1.25	-1.76	9269	-1.20	-1.57	-1.22
4w	-1.65	9230	-1.31	-2.21	9106	-1.35	-2.09	9260	-1.29	-1.98	-1.32
6w	-2.41	9217	-1.45	-2.71	9094	-1.48	-2.76	9248	-1.42	-2.63	-1.45
10w	-3.06	9205	-1.58	-3.53	9083	-1.60	-3.29	9237	-1.54	-3.29	-1.57
15w	-3.50	9203	-1.58	-4.17	9080	-1.61	-4.06	9235	-1.55	-3.91	-1.58
28w	-4.09	9197	-1.65	-4.56	9075	-1.67	-4.54	9229	-1.61	-4.39	-1.64
41w	-4.24	9196	-1.66	-4.50	9074	-1.68	-4.68	9229	-1.61	-4.47	-1.65
54w	-4.30	9197	-1.65	-4.88	9075	-1.67	-4.82	9229	-1.61	-4.67	-1.64

試験体種別：E50

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9343	0.00	0.00	9341	0.00	0.00	9312	0.00	0.00	0.00
2w	-1.74	9230	-1.22	-1.62	9232	-1.18	-1.47	9198	-1.24	-1.61	-1.21
17d	-1.79	9224	-1.29	-1.74	9223	-1.28	-1.71	9190	-1.33	-1.74	-1.30
3w	-1.88	9214	-1.40	-1.94	9215	-1.36	-1.85	9182	-1.41	-1.89	-1.39
4w	-2.41	9205	-1.50	-2.35	9206	-1.46	-2.32	9172	-1.52	-2.36	-1.49
6w	-2.91	9192	-1.64	-3.03	9194	-1.59	-2.85	9160	-1.65	-2.93	-1.63
10w	-3.44	9182	-1.74	-3.73	9185	-1.69	-3.47	9151	-1.75	-3.55	-1.73
15w	-4.15	9181	-1.73	-3.91	9184	-1.68	-3.94	9150	-1.74	-4.00	-1.72
28w	-4.68	9179	-1.76	-4.68	9183	-1.69	-4.70	9149	-1.75	-4.68	-1.73
41w	-4.77	9182	-1.72	-4.62	9186	-1.66	-4.74	9152	-1.72	-4.71	-1.70
54w	-4.97	9184	-1.70	-4.82	9189	-1.63	-4.79	9154	-1.70	-4.86	-1.68

試験体種別：E55

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9339	0.00	0.00	9316	0.00	0.00	9320	0.00	0.00	0.00
2w	-1.38	9218	-1.31	-1.47	9198	-1.28	-1.21	9198	-1.33	-1.35	-1.31
17d	-1.59	9209	-1.41	-1.82	9189	-1.38	-1.41	9191	-1.40	-1.61	-1.40
3w	-1.71	9199	-1.52	-1.91	9180	-1.48	-1.50	9182	-1.50	-1.71	-1.50
4w	-2.09	9190	-1.62	-2.09	9170	-1.59	-1.82	9174	-1.59	-2.00	-1.60
6w	-3.00	9177	-1.76	-2.79	9158	-1.72	-2.73	9162	-1.72	-2.84	-1.73
10w	-3.44	9167	-1.87	-3.38	9148	-1.83	-3.20	9153	-1.82	-3.34	-1.84
15w	-3.79	9168	-1.83	-3.97	9148	-1.80	-3.67	9153	-1.79	-3.81	-1.81
28w	-4.29	9168	-1.83	-4.44	9148	-1.80	-4.12	9155	-1.77	-4.28	-1.80
41w	-4.50	9173	-1.78	-4.44	9153	-1.75	-4.18	9160	-1.72	-4.37	-1.75
54w	-4.80	9177	-1.73	-4.62	9156	-1.72	-4.53	9164	-1.67	-4.65	-1.71

試験体種別：N35

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9418	0.00	0.00	9445	0.00	0.00	9425	0.00	0.00	0.00
2w	-2.18	9360	-0.62	-1.73	9380	-0.69	-2.24	9370	-0.59	-2.05	-0.63
17d	-2.62	9354	-0.68	-2.15	9373	-0.77	-2.50	9363	-0.66	-2.42	-0.70
3w	-2.82	9348	-0.75	-2.91	9369	-0.81	-2.80	9359	-0.70	-2.84	-0.75
4w	-3.26	9340	-0.83	-3.35	9362	-0.88	-3.15	9352	-0.78	-3.26	-0.83
6w	-3.85	9330	-0.94	-3.91	9353	-0.98	-3.65	9343	-0.88	-3.80	-0.93
10w	-4.47	9320	-1.05	-4.56	9343	-1.09	-4.32	9333	-0.98	-4.45	-1.04
15w	-5.03	9316	-1.08	-5.17	9338	-1.13	-4.74	9329	-1.02	-4.98	-1.08
28w	-6.20	9305	-1.20	-5.79	9329	-1.23	-5.47	9319	-1.12	-5.82	-1.18
41w	-6.06	9301	-1.24	-6.12	9326	-1.26	-5.94	9316	-1.16	-6.04	-1.22
54w	-6.23	9297	-1.28	-6.23	9322	-1.30	-5.88	9313	-1.19	-6.12	-1.26

試験体種別：N40

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9445	0.00	0.00	9450	0.00	0.00	9387	0.00	0.00	0.00
2w	-1.88	9375	-0.75	-2.35	9378	-0.77	-2.15	9316	-0.76	-2.13	-0.76
17d	-2.29	9368	-0.82	-2.62	9371	-0.84	-2.62	9308	-0.85	-2.51	-0.84
3w	-2.47	9361	-0.90	-2.88	9364	-0.92	-2.65	9300	-0.93	-2.67	-0.92
4w	-2.88	9353	-0.98	-3.35	9356	-1.00	-3.12	9293	-1.01	-3.12	-1.00
6w	-3.56	9343	-1.09	-4.00	9345	-1.12	-3.97	9282	-1.13	-3.84	-1.11
10w	-4.38	9330	-1.23	-5.00	9334	-1.24	-4.59	9269	-1.27	-4.66	-1.24
15w	-4.94	9326	-1.26	-5.50	9330	-1.27	-5.06	9268	-1.30	-5.17	-1.28
28w	-5.38	9317	-1.36	-6.06	9320	-1.38	-5.94	9255	-1.41	-5.79	-1.38
41w	-5.65	9314	-1.39	-6.35	9318	-1.40	-6.35	9252	-1.44	-6.12	-1.41
54w	-5.94	9312	-1.41	-6.62	9316	-1.42	-6.44	9250	-1.46	-6.33	-1.43

試験体種別：N45

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9245	0.00	0.00	9283	0.00	0.00	9248	0.00	0.00	0.00
2w	-2.06	9157	-0.96	-2.06	9193	-0.98	-2.38	9160	-0.96	-2.17	-0.97
17d	-2.12	9148	-1.06	-2.29	9183	-1.09	-2.50	9150	-1.07	-2.30	-1.07
3w	-2.71	9139	-1.16	-2.76	9175	-1.17	-2.82	9142	-1.16	-2.76	-1.16
4w	-3.38	9130	-1.26	-3.35	9166	-1.27	-3.35	9133	-1.26	-3.36	-1.26
6w	-4.09	9118	-1.39	-4.03	9154	-1.40	-3.97	9122	-1.38	-4.03	-1.39
10w	-4.97	9106	-1.52	-4.97	9143	-1.52	-4.88	9110	-1.51	-4.94	-1.52
15w	-5.35	9102	-1.55	-5.29	9139	-1.55	-5.26	6107	-1.52	-5.30	-1.54
28w	-6.09	9095	-1.62	-5.97	9132	-1.63	-5.82	9100	-1.60	-5.96	-1.62
41w	-6.62	9094	-1.63	-6.24	9130	-1.65	-6.33	9099	-1.61	-6.39	-1.63
54w	-6.50	9093	-1.64	-6.39	9129	-1.66	-6.59	9097	-1.63	-6.49	-1.65

試験体種別：N50

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9182	0.00	0.00	9195	0.00	0.00	9234	0.00	0.00	0.00
2w	-2.06	9074	-1.19	-2.00	9093	-1.12	-2.09	9128	-1.16	-2.05	-1.16
17d	-2.24	9063	-1.31	-2.47	9084	-1.22	-2.24	9118	-1.27	-2.31	-1.27
3w	-3.03	9055	-1.40	-2.88	9076	-1.31	-2.85	9109	-1.37	-2.92	-1.36
4w	-3.50	9044	-1.52	-3.35	9066	-1.42	-3.35	9099	-1.48	-3.40	-1.47
6w	-4.21	9032	-1.65	-3.94	9055	-1.54	-4.26	9086	-1.62	-4.14	-1.60
10w	-5.32	9020	-1.79	-5.06	9044	-1.66	-5.26	9073	-1.76	-5.22	-1.74
15w	-5.68	9018	-1.79	-5.38	9042	-1.66	-5.56	9071	-1.77	-5.54	-1.74
28w	-6.38	9012	-1.85	-5.88	9037	-1.72	-6.47	9065	-1.83	-6.24	-1.80
41w	-6.59	9012	-1.85	-6.12	9037	-1.72	-6.50	9063	-1.85	-6.41	-1.81
54w	-6.68	9010	-1.87	-6.12	9037	-1.72	-6.65	9062	-1.86	-6.48	-1.82

試験体種別：N55

試験期間	1			2			3			平均	
	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量 (g)	質量変化率 (%)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)	質量変化率 (%)
基長	0.00	9267	0.00	0.00	9314	0.00	0.00	9261	0.00	0.00	0.00
2w	-2.12	9147	-1.31	-1.97	9198	-1.26	-2.12	9146	-1.26	-2.07	-1.28
17d	-2.12	9136	-1.43	-2.21	9187	-1.38	-2.41	9135	-1.38	-2.25	-1.40
3w	-2.79	9127	-1.53	-2.80	9178	-1.48	-2.74	9126	-1.48	-2.78	-1.50
4w	-3.29	9116	-1.65	-3.24	9167	-1.60	-3.38	9115	-1.60	-3.30	-1.62
6w	-4.03	9103	-1.79	-4.03	9154	-1.74	-4.27	9102	-1.74	-4.11	-1.76
10w	-5.12	9091	-1.92	-5.06	9142	-1.87	-5.35	9091	-1.86	-5.18	-1.88
15w	-5.68	9089	-1.92	-5.47	9140	-1.87	-5.68	9088	-1.87	-5.61	-1.89
28w	-6.73	9083	-1.99	-6.30	9136	-1.91	-6.59	9082	-1.93	-6.54	-1.94
41w	-6.62	9083	-1.99	-6.24	9135	-1.92	-6.56	9082	-1.93	-6.47	-1.95
54w	-6.39	9083	-1.99	-6.48	915	-1.92	-6.62	9082	-1.93	-6.49	-1.95

資料 20 凍結融解試験結果（蒸気養生）

試験体種別：E35-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2241	100.0	9641	0.0	2226	100.0	9518	0.0	2242	100.0	9613	0.0	100.0	0.0
22	2236	99.6	9640	0.0	2210	98.6	9521	0.0	2236	99.5	9614	0.0	99.2	0.0
50	2234	99.4	9641	0.0	2210	98.6	9521	0.0	2238	99.6	9616	0.0	99.2	0.0
71	2244	100.3	9641	0.0	2214	98.9	9521	0.0	2236	99.5	9613	0.0	99.6	0.0
99	2246	100.4	9632	-0.1	2213	98.8	9519	0.0	2238	99.6	9614	0.0	99.6	0.0
121	2251	100.9	9623	-0.2	2219	99.4	9518	0.0	2242	100.0	9614	0.0	100.1	-0.1
149	2262	101.9	9605	-0.4	2216	99.1	9511	-0.1	2244	100.2	9612	0.0	100.4	-0.2
169	2254	101.2	9587	-0.6	2210	98.6	9505	-0.1	2241	99.9	9608	-0.1	99.9	-0.2
197	2260	101.7	9576	-0.7	2210	98.6	9499	-0.2	2244	100.2	9606	-0.1	100.1	-0.3
216	2258	101.5	9571	-0.7	2209	98.5	9493	-0.3	2246	100.4	9603	-0.1	100.1	-0.4
244	2264	102.1	9590	-0.5	2214	98.9	9488	-0.3	2246	100.4	9603	-0.1	100.4	-0.3
272	2270	102.6	9560	-0.8	2214	98.9	9479	-0.4	2247	100.4	9595	-0.2	100.7	-0.5
302	2270	102.6	9550	-0.9	2204	98.0	9463	-0.6	2242	100.0	9587	-0.3	100.2	-0.6
317	2267	102.3	9546	-1.0	2205	98.1	9452	-0.7	2248	100.5	9582	-0.3	100.3	-0.7

試験体種別：E40-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2150	100.0	9394	0.0	2176	100.0	9421	0.0	2138	100.0	9303	0.0	100.0	0.0
22	2124	97.6	9347	-0.5	2164	98.9	9425	0.0	2124	98.7	9304	0.0	98.4	-0.1
50	2114	96.7	9278	-1.2	2168	99.3	9425	0.0	2124	98.7	9303	0.0	98.2	-0.4
71	2120	97.2	9258	-1.4	2173	99.7	9422	0.0	2123	98.6	9296	-0.1	98.5	-0.5
99	2109	96.2	9205	-2.0	2168	99.3	9420	0.0	2121	98.4	9296	-0.1	98.0	-0.7
121	2117	97.0	9187	-2.2	2175	99.9	9422	0.0	2128	99.1	9295	-0.1	98.6	-0.8
149	2124	97.6	9176	-2.3	2184	100.7	9421	0.0	2131	99.3	9293	-0.1	99.2	-0.8
169	2120	97.2	9162	-2.5	2180	100.4	9421	0.0	2130	99.3	9283	-0.2	98.9	-0.9
197	2122	97.4	9149	-2.6	2188	101.1	9417	0.0	2128	99.1	9277	-0.3	99.2	-1.0
216	2123	97.5	9137	-2.7	2184	100.7	9412	-0.1	2129	99.2	9266	-0.4	99.1	-1.1
244	2122	97.4	9132	-2.8	2189	101.2	9409	-0.1	2120	98.3	9262	-0.4	99.0	-1.1
272	2120	97.2	9116	-3.0	2191	101.4	9390	-0.3	2116	98.0	9231	-0.8	98.9	-1.4
302	2116	96.9	9103	-3.1	2180	100.4	9378	-0.5	2112	97.6	9212	-1.0	98.3	-1.5
317	2116	96.9	9093	-3.2	2185	100.8	9370	-0.5	2111	97.5	9204	-1.1	98.4	-1.6

試験体種別：E45-NonAE

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2183	100.0	9651	0.0	2138	100.0	9812	0.0	2161	100.0	9735	0.0	100.0	0.0
20	1375	39.7	9746	1.0	1342	39.4	9770	-0.4	1395	41.7	9824	0.9	40.2	0.5
42	668	9.4	9691	0.4	587	7.5	9839	0.3	648	9.0	9771	0.4	8.6	0.4

試験体種別：E45-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2160	100.0	9457	0.0	2145	100.0	9441	0.0	2182	100.0	9542	0.0	100.0	0.0
22	2128	97.1	9436	-0.2	2104	96.2	9445	0.0	2140	96.2	9534	-0.1	96.5	-0.1
50	2106	95.1	9420	-0.4	2087	94.7	9443	0.0	2124	94.8	9525	-0.2	94.8	-0.2
71	2095	94.1	9405	-0.6	2075	93.6	9437	0.0	2131	95.4	9426	-1.2	94.3	-0.6
99	1970	83.2	9129	-3.5	2034	89.9	9417	-0.3	2117	94.1	9345	-2.1	89.1	-1.9
121	1864	74.5	8993	-4.9	2014	88.2	9398	-0.5	2122	94.6	9308	-2.5	85.7	-2.6
149	1640	57.6	8892	-6.0	1956	83.2	9363	-0.8	2080	90.9	9258	-3.0	77.2	-3.3
169	1465	46.0	8815	-6.8	1895	78.0	9319	-1.3	2030	86.6	9210	-3.5	70.2	-3.9
197	1090	25.5	8593	-9.2	1729	65.0	9243	-2.1	1900	75.8	9134	-4.3	55.4	-5.2
216					1647	59.0	9198	-2.6	1777	66.3	9081	-4.8	41.8	-36.0
244									1621	55.2	8995	-5.7	18.4	-68.8

試験体種別：E45-B-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2058	100.0	9436	0.0	2090	100.0	9270	0.0	2060	100.0	9536	0.0	100.0	0.0
20	2040	98.3	9448	0.1	2083	99.3	9284	0.2	2045	98.5	9545	0.1	98.7	0.1
42	2042	98.5	9447	0.1	2076	98.7	9282	0.1	2054	99.4	9545	0.1	98.8	0.1
70	2044	98.6	9440	0.0	2078	98.9	9272	0.0	2044	98.5	9531	-0.1	98.7	0.0
99	2044	98.6	9431	-0.1	2084	99.4	9258	-0.1	2044	98.5	9518	-0.2	98.8	-0.1
130	2042	98.5	9403	-0.3	2081	99.1	9245	-0.3	2042	98.3	9449	-0.9	98.6	-0.5
159	2046	98.8	9387	-0.5	2069	98.0	9229	-0.4	2042	98.3	9492	-0.5	98.4	-0.5
194	2050	99.2	9355	-0.9	2076	98.7	9199	-0.8	2039	98.0	9411	-1.3	98.6	-1.0
224	2044	98.6	9337	-1.0	2082	99.2	9190	-0.9	2032	97.3	9395	-1.5	98.4	-1.1
259	2046	98.8	9303	-1.4	2071	98.2	9153	-1.3	2034	97.5	9363	-1.8	98.2	-1.5
276	2034	97.7	9289	-1.6	2070	98.1	9148	-1.3	2033	97.4	9355	-1.9	97.7	-1.6
305	2035	97.8	9261	-1.9	2060	97.1	9115	-1.7	2027	96.8	9332	-2.1	97.2	-1.9

試験体種別：E50-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2084	100.0	9525	0.0	2133	100.0	9404	0.0	2095	100.0	9419	0.0	100.0	0.0
22	1895	82.7	9503	-0.2	1975	85.7	9326	-0.8	1910	83.1	9243	-1.9	83.8	-1.0
50	1380	43.8	9484	-0.4	1571	54.2	9274	-1.4	1306	38.9	9168	-2.7	45.7	-1.5

試験体種別：E50-A-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2050	100.0	9582	0.0	2077	100.0	9472	0.0	2073	100.0	9318	0.0	100.0	0.0
20	2043	99.3	9590	0.1	2062	98.6	9481	0.1	2060	98.7	9324	0.1	98.9	0.1
42	2044	99.4	9584	0.0	2070	99.3	9475	0.0	2068	99.5	9317	0.0	99.4	0.0
70	2046	99.6	9569	-0.1	2059	98.3	9461	-0.1	2067	99.4	9304	-0.2	99.1	-0.1
99	2048	99.8	9442	-1.5	2064	98.8	9441	-0.3	2066	99.3	9285	-0.4	99.3	-0.7
130	2039	98.9	9381	-2.1	2062	98.6	9415	-0.6	2042	97.0	9024	-3.2	98.2	-2.0
159	2040	99.0	9363	-2.3	2070	99.3	9396	-0.8	2048	97.6	8940	-4.1	98.7	-2.4
194	2052	100.2	9329	-2.6	2075	99.8	9369	-1.1	2060	98.7	8889	-4.6	99.6	-2.8
224	2038	98.8	9306	-2.9	2076	99.9	9341	-1.4	2056	98.4	8869	-4.8	99.0	-3.0
259	2042	99.2	9264	-3.3	2080	100.3	9293	-1.9	2070	99.7	8836	-5.2	99.7	-3.5
276	2032	98.3	9230	-3.7	2073	99.6	9281	-2.1	2067	99.4	8810	-5.5	99.1	-3.7
305	2019	97.0	9193	-4.1	2066	98.9	9245	-2.4	2055	98.3	8766	-5.9	98.1	-4.1

試験体種別：E50-B-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2028	100.0	9324	0.0	2048	100.0	9483	0.0	2027	100.0	9451	0.0	100.0	0.0
20	2022	99.4	9328	0.0	2045	99.7	9491	0.1	2027	100.0	9458	0.1	99.7	0.1
42	2026	99.8	9324	0.0	2048	100.0	9484	0.0	2038	101.1	9431	-0.2	100.3	-0.1
70	2037	100.9	9311	-0.1	2050	100.2	9476	-0.1	2042	101.5	9409	-0.4	100.9	-0.2
99	2036	100.8	9300	-0.3	2048	100.0	9451	-0.3	2038	101.1	9397	-0.6	100.6	-0.4
130	2032	100.4	9270	-0.6	2046	99.8	9429	-0.6	2028	100.1	9381	-0.7	100.1	-0.6
159	2031	100.3	9247	-0.8	2044	99.6	9409	-0.8	2030	100.3	9360	-1.0	100.1	-0.9
194	2028	100.0	9209	-1.2	2052	100.4	9368	-1.2	2054	102.7	9331	-1.3	101.0	-1.2
224	2032	100.4	9187	-1.5	2049	100.1	9340	-1.5	2044	101.7	9305	-1.5	100.7	-1.5
259	2020	99.2	9141	-2.0	2038	99.0	9300	-1.9	2054	102.7	9255	-2.1	100.3	-2.0
276	2010	98.2	9123	-2.2	2038	99.0	9285	-2.1	2057	103.0	9124	-3.5	100.1	-2.6
305	2020	99.2	9012	-3.3	2036	98.8	9089	-4.2	2046	101.9	9241	-2.2	100.0	-3.2

試験体種別：E55-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2111	100.0	9485	0.0	2117	100.0	9465	0.0	2120	100.0	9575	0.0	100.0	0.0
22	1783	71.3	9529	0.5	1898	80.4	9508	0.5	1865	77.4	9620	0.5	76.4	0.5
50	1093	26.8	9415	-0.7	828	15.3	9295	-1.8	607	8.2	9303	-2.8	16.8	-1.8

試験体種別：E55-A-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2128	100.0	9154	0.0	2042	100.0	9236	0.0	2054	100.0	9291	0.0	10.0	0.0
20	2090	98.5	9161	0.1	2033	99.1	9243	0.1	2046	99.2	9300	0.1	98.9	0.1
42	2094	99.3	9124	-0.3	2043	100.1	9243	0.1	2062	100.8	9302	0.1	100.1	0.0
70	2096	99.8	9080	-0.8	2045	100.3	9136	-1.1	2071	101.7	9274	-0.2	100.6	-0.7
99	2092	101.2	9051	-1.1	2058	101.6	9110	-1.4	2068	101.4	9268	-0.2	101.4	-0.9
130	2090	101.7	9022	-1.4	2058	101.6	9092	-1.6	2070	101.6	9257	-0.4	101.6	-1.1
159	2100	101.9	9008	-1.6	2059	101.7	9087	-1.6	2066	101.2	9245	-0.5	101.6	-1.2
194	2102	101.6	8964	-2.1	2060	101.8	9054	-2.0	2070	101.6	9227	-0.7	101.6	-1.6
224	2096	101.8	8934	-2.4	2042	100.0	8833	-4.4	2071	101.7	9214	-0.8	101.1	-2.5
259	2100	101.1	8895	-2.8	2057	101.5	8737	-5.4	2068	101.4	9188	-1.1	101.3	-3.1
276	2096	100.2	8869	-3.1	2056	101.4	8725	-5.5	2060	100.6	9116	-1.9	100.7	-3.5
305	2060	99.6	8795	-3.9	2056	101.4	8677	-6.1	2061	100.7	9134	-1.7	100.6	-3.9

試験体種別：E55-B-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2013	100.0	9235	0.0	2050	100.0	9220	0.0	2095	100.0	9096	0.0	100.0	0.0
20	2000	98.7	9247	0.1	2050	100.0	9232	0.1	2093	99.8	9104	0.1	99.5	0.1
42	2017	100.4	9243	0.1	2055	100.5	9228	0.1	2097	100.2	9106	0.1	100.4	0.1
70	2022	100.9	9237	0.0	2063	101.3	9209	-0.1	2102	100.7	9097	0.0	100.9	0.0
99	2021	100.8	9214	-0.2	2055	100.5	9195	-0.3	2098	100.3	9091	-0.1	100.5	-0.2
130	2025	101.2	9191	-0.5	2071	102.1	9180	-0.4	2104	100.9	9078	-0.2	101.4	-0.4
159	2026	101.3	9171	-0.7	2058	100.8	9169	-0.6	2106	101.1	9064	-0.4	101.0	-0.5
194	2013	100.0	9124	-1.2	2056	100.6	9126	-1.0	2100	100.5	9035	-0.7	100.4	-0.9
224	2018	100.5	9071	-1.7	2063	101.3	9103	-1.3	2103	100.8	9010	-0.9	100.8	-1.3
259	2010	99.7	9014	-2.3	2060	101.0	9069	-1.6	2111	101.5	8975	-1.3	100.7	-1.8
276	2007	99.4	8986	-2.7	2060	101.0	8987	-2.5	2103	100.8	8949	-1.6	100.4	-2.3
305	1952	94.0	8886	-3.8	2066	101.6	8931	-3.1	2095	100.0	8905	-2.1	98.5	-3.0

試験体種別：N35-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2257	100.0	9667	0.0	2218	100.0	9590	0.0	2254	100.0	9592	0.0	100.0	0.0
15	2224	97.1	9664	0.0	2180	96.6	9588	0.0	2220	97.0	9592	0.0	96.9	0.0
43	2221	96.8	9664	0.0	2182	96.8	9584	-0.1	2221	97.1	9593	0.0	96.9	0.0
64	2238	98.3	9663	0.0	2195	97.9	9580	-0.1	2225	97.4	9589	0.0	97.9	-0.1
92	2230	97.6	9657	-0.1	2178	96.4	9578	-0.1	2221	97.1	9587	-0.1	97.0	-0.1
114	2226	97.3	9657	-0.1	2192	97.7	9576	-0.1	2237	98.5	9591	0.0	97.8	-0.1
141	2246	99.0	9657	-0.1	2204	98.7	9574	-0.2	2242	98.9	9588	0.0	98.9	-0.1
162	2236	98.1	9652	-0.2	2194	97.8	9568	-0.2	2236	98.4	9583	-0.1	98.1	-0.2
190	2240	98.5	9649	-0.2	2204	98.7	9567	-0.2	2244	99.1	9583	-0.1	98.8	-0.2
209	2247	99.1	9647	-0.2	2206	98.9	9560	-0.3	2236	98.4	9578	-0.1	98.8	-0.2
237	2252	99.6	9644	-0.2	2210	99.3	9556	-0.4	2250	99.6	9578	-0.1	99.5	-0.2
265	2247	99.1	9638	-0.3	2205	98.8	9551	-0.4	2249	99.6	9574	-0.2	99.2	-0.3
295	2254	99.7	9634	-0.3	2214	99.6	9542	-0.5	2252	99.8	9570	-0.2	99.7	-0.4
310	2235	98.1	9632	-0.4	2217	99.9	9536	-0.6	2258	100.4	9567	-0.3	99.4	-0.4

試験体種別：N40-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2184	100.0	9484	0.0	2217	100.0	9516	0.0	2214	100.0	9434	0.0	100.0	0.0
15	2156	97.5	9482	0.0	2193	97.8	9512	0.0	2180	97.0	9433	0.0	97.4	0.0
43	2152	97.1	9483	0.0	2182	96.9	9510	-0.1	2177	96.7	9431	0.0	96.9	0.0
64	2160	97.8	9477	-0.1	2194	97.9	9504	-0.1	2180	97.0	9421	-0.1	97.6	-0.1
92	2145	96.5	9456	-0.3	2176	96.3	9501	-0.2	2170	96.1	9424	-0.1	96.3	-0.2
114	2150	96.9	9429	-0.6	2180	96.7	9490	-0.3	2172	96.2	9420	-0.1	96.6	-0.3
141	2161	97.9	9400	-0.9	2188	97.4	9473	-0.5	2177	96.7	9403	-0.3	97.3	-0.6
162	2146	96.6	9377	-1.1	2177	96.4	9440	-0.8	2160	95.2	9391	-0.5	96.1	-0.8
190	2150	96.9	9360	-1.3	2188	97.4	9409	-1.1	2166	95.7	9372	-0.7	96.7	-1.0
209	2160	97.8	9339	-1.5	2174	96.2	9394	-1.3	2172	96.2	9355	-0.8	96.7	-1.2
237	2154	97.3	9305	-1.9	2185	97.1	9376	-1.5	2174	96.4	9340	-1.0	96.9	-1.5
265	2156	97.5	9280	-2.2	2110	90.6	9353	-1.7	2159	95.1	9323	-1.2	94.4	-1.7
295	2160	97.8	9259	-2.4	2096	89.4	9326	-2.0	2150	94.3	9293	-1.5	93.8	-2.0
310	2165	98.3	9248	-2.5	2100	89.7	9313	-2.1	2153	94.6	9275	-1.7	94.2	-2.1

試験体種別：N45-NonAE

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2253	100.0	9771	0.0	2248	100.0	9754	0.0	2224	100.0	9820	0.0	100.0	0.0
20	1734	59.2	9746	-0.3	1946	74.9	9770	0.2	1880	71.5	9824	0.0	68.5	0.0
42	851	14.3	9717	-0.6	1136	25.5	9776	0.2	981	19.5	9822	0.0	19.8	-0.1

試験体種別：N45-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2161	100.0	9255	0.0	2152	100.0	9395	0.0	2154	100.0	9292	0.0	100.0	0.0
15	2142	98.2	9249	-0.1	2129	97.9	9387	-0.1	2133	98.1	9287	-0.1	98.1	-0.1
43	2139	98.0	9245	-0.1	2126	97.6	9381	-0.1	2137	98.4	9284	-0.1	98.0	-0.1
64	2148	98.8	9232	-0.2	2142	99.1	9370	-0.3	2146	99.3	9280	-0.1	99.0	-0.2
92	2146	98.6	9222	-0.3	2124	97.4	9357	-0.4	2130	97.8	9253	-0.4	97.9	-0.4
114	2146	98.6	9216	-0.4	2132	98.1	9346	-0.5	2141	98.8	9428	1.5	98.5	0.2
141	2155	99.4	9198	-0.6	2140	98.9	9329	-0.7	2145	99.2	9238	-0.6	99.2	-0.6
162	2152	99.2	9184	-0.7	2140	98.9	9310	-0.9	2152	99.8	9226	-0.7	99.3	-0.8
190	2150	99.0	9164	-1.0	2136	98.5	9289	-1.1	2150	99.6	9213	-0.9	99.0	-1.0
209	2156	99.5	9139	-1.2	2140	98.9	9272	-1.3	2152	99.8	9120	-1.9	99.4	-1.5
237	2160	99.9	9123	-1.4	2146	99.4	9249	-1.6	2158	100.4	9190	-1.1	99.9	-1.3
265	2156	99.5	9234	-0.2	2145	99.4	9110	-3.0	2162	100.7	9179	-1.2	99.9	-1.5
295	2149	98.9	9089	-1.8	2144	99.3	9514	1.3	2164	100.9	9160	-1.4	99.7	-0.6
310	2146	98.6	9077	-1.9	2138	98.7	9203	-2.0	2161	100.7	9152	-1.5	99.3	-1.8

試験体種別：N50-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2068	100.0	9341	0.0	2066	100.0	9364	0.0	2064	100.0	9355	0.0	100.0	0.0
15	2042	97.5	9333	-0.1	2036	97.1	9357	-0.1	2035	97.2	9353	0.0	97.3	-0.1
43	2048	98.1	9316	-0.3	2042	97.7	9344	-0.2	2035	97.2	9332	-0.2	97.7	-0.2
64	2054	98.7	9305	-0.4	2055	98.9	9327	-0.4	2040	97.7	9312	-0.5	98.4	-0.4
92	2044	97.7	9287	-0.6	2039	97.4	9311	-0.6	2035	97.2	9302	-0.6	97.4	-0.6
114	2052	98.5	9281	-0.6	2044	97.9	9302	-0.7	2038	97.5	9290	-0.7	97.9	-0.7
141	2050	98.3	9263	-0.8	2058	99.2	9282	-0.9	2038	97.5	9266	-1.0	98.3	-0.9
162	2044	97.7	9245	-1.0	2052	98.6	9261	-1.1	2035	97.2	9246	-1.2	97.9	-1.1
190	2050	98.3	9214	-1.4	2045	98.0	9232	-1.4	2025	96.3	9214	-1.5	97.5	-1.4
209	2050	98.3	9180	-1.7	2050	98.5	9209	-1.7	2038	97.5	9192	-1.7	98.1	-1.7
237	2042	97.5	9156	-2.0	2032	96.7	9182	-1.9	2030	96.7	9167	-2.0	97.0	-2.0
265	2050	98.3	9140	-2.2	2028	96.4	9159	-2.2	2023	96.1	9130	-2.4	96.9	-2.2
295	2055	98.7	9101	-2.6	2026	96.2	9128	-2.5	2017	95.5	9099	-2.7	96.8	-2.6
310	2048	98.1	9082	-2.8	2013	94.9	9106	-2.8	2007	94.6	9068	-3.1	95.9	-2.9

試験体種別：N50-B-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	振動数(Hz)	相対動弾性(%)	質量(g)	質量変化率(%)	相対動弾性(%)	質量変化率(%)
0	2128	100.0	9348	0.0	2133	100.0	9510	0.0	2123	100.0	9355	0.0	100.0	0.0
20	2090	96.5	9352	0.0	2098	96.7	9513	0.0	2092	97.1	9356	0.0	96.8	0.0
42	2094	96.8	9338	-0.1	2098	96.7	9510	0.0	2086	96.5	9349	-0.1	96.7	-0.1
70	2096	97.0	9300	-0.5	2094	96.4	9499	-0.1	2098	97.7	9335	-0.2	97.0	-0.3
99	2092	96.6	9292	-0.6	2094	96.4	9491	-0.2	2089	96.8	9317	-0.4	96.6	-0.4
130	2090	96.5	9248	-1.1	2087	95.7	9482	-0.3	2085	96.5	9299	-0.6	96.2	-0.7
159	2100	97.4	9271	-0.8	2110	97.9	9473	-0.4	2080	96.0	9208	-1.6	97.1	-0.9
194	2102	97.6	9255	-1.0	2102	97.1	9449	-0.6	2096	97.5	9154	-2.1	97.4	-1.3
224	2096	97.0	9241	-1.1	2096	96.6	9439	-0.7	2098	97.7	9143	-2.3	97.1	-1.4
259	2100	97.4	9219	-1.4	2106	97.5	9419	-1.0	2098	97.7	9130	-2.4	97.5	-1.6
276	2096	97.0	9214	-1.4	2102	97.1	9412	-1.0	2084	96.4	9129	-2.4	96.8	-1.6
305	2096	97.0	9192	-1.7	2099	96.8	9386	-1.3	2095	97.4	9111	-2.6	97.1	-1.9

試験体種別：N55-A-4.5

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
0	2133	100.0	9310	0.0	2082	100.0	9284	0.0	2093	100.0	9321	0.0	100.0	0.0
15	2108	97.7	9308	0.0	2064	98.3	9278	-0.1	2078	98.6	9317	0.0	98.2	0.0
43	2105	97.4	9280	-0.3	2061	98.0	9250	-0.4	2073	98.1	9292	-0.3	97.8	-0.3
64	2110	97.9	9252	-0.6	2080	99.8	9226	-0.6	2088	99.5	9264	-0.6	99.1	-0.6
92	2100	96.9	9230	-0.9	2064	98.3	9183	-1.1	2072	98.0	9247	-0.8	97.7	-0.9
114	2103	97.2	9202	-1.2	2070	98.9	9156	-1.4	2069	97.7	9229	-1.0	97.9	-1.2
141	2091	96.1	9156	-1.7	2063	98.2	9118	-1.8	2079	98.7	9199	-1.3	97.7	-1.6
162	2084	95.5	9106	-2.2	2061	98.0	9082	-2.2	2075	98.3	9169	-1.6	97.2	-2.0
190	2070	94.2	9052	-2.8	2046	96.6	9027	-2.8	2068	97.6	9121	-2.1	96.1	-2.6
209	2055	92.8	9016	-3.2	2052	97.1	8988	-3.2	2070	97.8	9087	-2.5	95.9	-3.0
237	2048	92.2	8966	-3.7	2051	97.0	8904	-4.1	2067	97.5	9041	-3.0	95.6	-3.6
265	2024	90.0	8920	-4.2	2034	95.4	8846	-4.7	2065	97.3	8993	-3.5	94.3	-4.1
295	1971	85.4	8834	-5.1	1990	91.4	8785	-5.4	2045	95.5	8930	-4.2	90.7	-4.9
310	1928	81.7	8801	-5.5	1960	88.6	8745	-5.8	2031	94.2	8906	-4.5	88.2	-5.2

資料21　促進中性化試験結果（蒸気養生、水セメント比の影響）

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値 (mm)	平均値 (mm)	測定値 (mm)	平均値 (mm)	測定値 (mm)	平均値 (mm)	測定値 (mm)	平均値 (mm)	測定値 (mm)	平均値 (mm)	測定値 (mm)	平均値 (mm)
E35	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
E40	1	0.00	0.00	0.06	0.24	0.68	0.73	2.59	1.73	3.12	2.73	8.71	6.97
	2	0.00		0.42		0.79		0.87		2.34		5.24	
E45	1	0.00	0.00	3.18	2.32	4.99	4.40	8.11	7.18	9.15	9.51	14.12	13.63
	2	0.00		1.46		3.81		6.24		9.87		13.14	
E50	1	0.00	0.00	1.35	1.60	4.77	5.22	9.45	9.07	13.47	12.63	17.03	17.38
	2	0.00		1.85		5.68		8.70		11.79		17.74	
E55	1	0.00	0.00	0.98	1.27	6.37	6.65	10.21	10.34	13.76	13.64	20.73	20.41
	2	0.00		1.57		6.94		10.47		13.52		20.28	
N35	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.86
	2	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		1.22	
N40	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.15	0.00	0.00	0.41	0.38	1.31	1.07
	2	0.00		0.00		0.20		0.00		0.36		0.82	
N45	1	0.00	0.00	0.10	0.18	0.67	0.66	0.13	0.44	2.34	2.35	6.19	4.84
	2	0.00		0.25		0.66		0.74		2.35		3.50	
N50	1	0.00	0.00	0.23	0.12	1.83	1.41	2.87	3.20	5.04	4.57	9.81	8.84
	2	0.00		0.01		1.00		3.52		4.11		7.88	
N55	1	0.00	0.00	0.20	0.11	2.70	2.61	4.82	4.88	6.54	6.48	9.49	11.24
	2	0.00		0.02		2.52		4.95		6.42		12.99	

資料22　促進中性化試験結果（蒸気養生、養生条件の影響）

養生Ⅰ

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E35	1	0.00	0.00	2.57	2.47	5.67	5.42	6.74	7.09	8.11	7.78	13.13	12.51
	2	0.00		2.38		5.17		7.43		7.45		11.89	
E45	1	0.00	0.00	5.83	6.19	9.60	10.41	13.44	14.39	17.04	18.41	26.51	27.34
	2	0.00		6.55		11.23		15.34		19.77		28.18	
N45	1	0.00	0.00	3.77	3.96	6.93	6.64	8.18	8.20	9.37	9.41	14.78	14.51
	2	0.00		4.15		6.36		8.23		9.45		14.24	
N55	1	0.00	0.00	6.31	6.62	10.95	10.79	13.15	13.55	14.94	15.42	23.61	23.36
	2	0.00		6.94		10.63		13.96		15.91		23.11	

養生Ⅱ

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E45	1	0.00	0.00	2.46	2.15	7.04	7.06	9.06	9.98	13.32	14.58	18.34	18.45
	2	0.00		1.84		7.08		10.90		15.85		18.56	
N45	1	0.00	0.00	1.03	1.32	4.56	4.94	6.51	5.70	6.91	7.09	9.38	9.35
	2	0.00		1.61		5.32		4.89		7.27		9.32	

養生Ⅲ

試験体種別	供試体No.	0w		1w		4w		8w		13w		26w	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E45	1	0.00	0.00	0.95	0.60	6.83	6.82	9.87	10.02	14.33	14.56	18.38	19.76
	2	0.00		0.25		6.82		10.18		14.79		21.14	
N45	1	0.00	0.00	0.59	0.86	1.42	1.56	5.88	5.85	6.22	6.45	7.27	8.18
	2	0.00		1.13		1.70		5.83		6.68		9.09	

資料23　圧縮強度試験結果（蒸気養生、促進中性化試験　養生条件の影響）

材齢1日　蒸気養生終了後

試料名	番号	最大荷重(kN)	圧縮強度(N/mm^2)	平均(N/mm^2)
E35	1	397	50.4	49.9
	2	389	49.4	
	3	—	—	
E45	1	215	27.3	28.0
	2	227	29.0	
	3	218	27.8	
N45	1	241	30.6	30.6
	2	243	30.9	
	3	239	30.4	
N55	1	158	20.0	19.9
	2	156	19.8	
	3	—	—	

養生Ⅰ試験前（材齢14日）

試料名	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
E35	1	504	67.1	61.2
	2	458	58.4	
	3	—	—	
E45	1	301	38.2	39.4
	2	308	39.2	
	3	320	40.8	
N45	1	318	40.0	40.3
	2	326	40.8	
	3	315	40.1	
N55	1	234	29.7	29.6
	2	233	29.6	
	3	—	—	

養生Ⅱ試験前（材齢42日）

試料名	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
E45	1	417	52.7	54.9
	2	440	55.8	
	3	443	56.1	
N45	1	449	56.9	55.7
	2	435	55.2	
	3	433	54.9	

養生Ⅲ試験前（材齢70日）

試料名	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)
E45	1	370	47.0	48.1
	2	374	47.5	
	3	394	49.8	
N45	1	402	51.1	50.8
	2	391	49.6	
	3	408	51.9	

資料24　硬化体空隙率測定結果（蒸気養生、促進中性化試験　養生条件の影響）

中性化試験終了後　未中性化部分

養生No.	ｾﾒﾝﾄ種類	W/C (%)	全空隙率 (%)
Ⅰ	E	35	14.34
		65	16.90
	N	45	14.42
		65	16.80
Ⅱ	E	45	15.93
	N	45	11.57
Ⅲ	E	45	13.73
	N	45	11.78

資料25　鉄筋の発錆試験結果（蒸気養生、乾湿繰返し試験　20サイクル）

試験水準	供試体No.	鉄筋位置	発錆面積率(%)	
			かぶり 1cm	かぶり 2cm
E40	1	打設面	0.00	2.49
		底面	3.62	0.00
	2	打設面	0.00	0.00
		底面	2.04	0.00
E50	1	打設面	5.12	1.69
		底面	3.73	5.61
	2	打設面	0.00	6.96
		底面	6.77	3.13
N40	1	打設面	0.00	0.11
		底面	2.68	1.23
	2	打設面	1.49	0.00
		底面	3.84	1.08
N50	1	打設面	0.00	6.01
		底面	2.15	2.00
	2	打設面	0.00	3.05
		底面	0.00	0.00

資料26　圧縮強度試験結果（蒸気養生、屋外暴露試験）

暴露場所：茨城県つくば市

E40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	平均 (kN/mm^2)
6ヶ月	1	431	54.9	53.3	35.0	34.4
	2	415	52.8		33.7	
	3	411	52.4		30.2	
1年	1	451	57.5	60.7	33.5	33.5
	2	485	61.7		34.5	
	3	497	62.9		32.6	
2年	1	439	55.8	55.8	34.9	34.1
	2	446	56.5		33.2	
	3	433	54.9		34.1	

E50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	平均 (kN/mm^2)
6ヶ月	1	320	40.7	41.3	29.2	32.4
	2	319	40.7		33.5	
	3	334	42.6		34.4	
1年	1	379	48.2	50.6	32.8	33.5
	2	405	51.5		35.0	
	3	412	51.9		32.8	
2年	1	402	51.1	50.2	35.3	34.9
	2	382	48.3		33.8	
	3	403	51.3		35.6	

N40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	平均 (kN/mm^2)
6ヶ月	1	469	59.8	60.1	35.7	35.2
	2	474	60.4		34.4	
	3	474	60.3		35.4	
1年	1	536	68.4	68.8	37.1	37.4
	2	549	69.3		37.6	
	3	541	68.8		37.5	
2年	1	533	67.7	68.4	39.7	38.9
	2	549	69.8		38.9	
	3	534	67.6		38.1	

N50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm^2)	平均 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	平均 (kN/mm^2)
6ヶ月	1	392	49.9	49.7	32.4	34.0
	2	400	50.9		34.9	
	3	380	48.4		34.8	
1年	1	428	54.4	54.7	33.6	34.2
	2	436	55.4		34.9	
	3	426	54.3		34.2	
2年	1	458	58.2	56.2	36.8	35.7
	2	431	54.8		35.0	
	3	439	55.7		35.2	

暴露場所：新潟県親不知

E40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
6ヶ月	1	400	50.9	50.7	33.0	32.5
	2	397	50.6		31.0	
	3	398	50.7		33.6	
1年	1	391	49.5	50.0	34.9	34.9
	2	394	49.8		33.8	
	3	401	50.7		35.9	
2年	1	387	49.2	51.3	34.1	34.3
	2	389	49.3		34.8	
	3	438	55.4		34.2	

E50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
6ヶ月	1	354	45.0	43.3	34.1	32.6
	2	330	42.0		29.9	
	3	336	42.8		33.9	
1年	1	343	43.5	42.8	32.9	32.6
	2	320	40.6		32.3	
	3	347	44.2		32.5	
2年	1	355	45.0	46.0	34.5	34.4
	2	357	45.2		35.0	
	3	377	47.9		33.8	

N40

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
6ヶ月	1	447	56.9	59.1	33.7	34.6
	2	468	59.6		36.3	
	3	478	60.8		33.8	
1年	1	472	60.2	61.1	36.3	36.8
	2	486	61.6		36.7	
	3	488	61.5		37.2	
2年	1	534	67.7	67.4	38.4	37.7
	2	528	66.8		38.2	
	3	533	67.6		36.5	

N50

材齢	番号	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm²)	平均 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	平均 (kN/mm²)
6ヶ月	1	390	49.7	49.6	33.6	33.7
	2	379	48.3		32.5	
	3	400	51.0		35.1	
1年	1	389	49.3	49.3	33.0	33.9
	2	392	49.6		34.3	
	3	384	48.9		34.4	
2年	1	411	52.1	51.7	34.9	34.5
	2	401	51.0		34.3	
	3	412	52.1		34.3	

資料27　中性化試験結果（蒸気養生、屋外暴露試験）

暴露場所：茨城県つくば市

試験体種別	供試体No.	0w		6ヶ月		1年		2年	
		測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)	測定値(mm)	平均値(mm)
E40	1	0.00	0.00	0.00	0.10	0.35	0.49	0.69	0.67
	2	0.00		0.20		0.63		0.65	
E50	1	0.00	0.00	0.70	0.90	1.13	1.19	1.24	1.21
	2	0.00		1.10		1.26		1.18	
N40	1	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.07	0.10	0.15
	2	0.00		0.06		0.10		0.20	
N50	1	0.00	0.00	0.51	0.32	0.55	0.68	1.08	1.00
	2	0.00		0.13		0.81		0.93	

資料 28　相対動弾性係数測定結果（蒸気養生、屋外暴露試験）

暴露場所：新潟県親不知

試験体種別：E40

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
暴露前	2271	100.0	9305	0.00	2213	100.0	9477	0.00	2187	100.0	9426	0.00	100.0	0.00
1年	2294	102.0	9202	-1.11	2228	101.4	9389	-0.93	2200	101.2	9332	-1.00	101.5	-1.01
2年	2290	101.7	9134	-1.83	2233	101.8	9317	-1.69	2205	101.7	9261	-1.75	101.7	-1.75

試験体種別：E50

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
暴露前	2208	100.0	9453	0.00	2209	100.0	9390	0.00	2207	100.0	9405	0.00	100.0	0.00
1年	2238	102.7	9373	-0.84	2233	102.2	9331	-0.63	2233	102.4	9345	-0.64	102.4	-0.70
2年	2222	101.3	9343	-1.17	2223	101.3	9289	-1.08	2226	101.7	9302	-1.09	101.4	-1.11

試験体種別：E50-6.0

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
暴露前	2098	100.0	9526	0.00	2082	100.0	9496	0.00	2117	100.0	9493	0.00	100.0	0.00
1年	2194	109.4	9494	-0.34	2183	109.9	9460	-0.38	2216	109.6	9457	-0.38	109.6	-0.37
2年	2187	108.7	9441	-0.90	2178	109.4	9407	-0.94	2207	108.7	9408	-0.89	108.9	-0.91

試験体種別：N40

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
暴露前	2313	100.0	9555	0.00	2259	100.0	9476	0.00	2264	100.0	9833	0.00	100.0	0.00
1年	2342	102.5	9481	-0.78	2288	102.6	9401	-0.79	2290	102.3	9756	-0.78	102.5	-0.78
2年	2248	94.5	9431	-1.29	2290	102.8	9349	-1.34	2295	102.8	9699	-1.36	100.0	-1.33

試験体種別：N50

サイクル数	1				2				3				平均	
	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	振動数 (Hz)	相対動弾性 (%)	質量 (g)	質量変化率 (%)	相対動弾性 (%)	質量変化率 (%)
暴露前	2159	100.0	9434	0.00	2197	100.0	9433	0.00	2143	100.0	9467	0.00	100.0	0.00
1年	2195	103.4	9365	-0.73	2237	103.7	9363	-0.75	2178	103.3	9401	-0.69	103.4	-0.72
2年	2186	102.5	9293	-1.50	2232	103.2	9291	-1.50	2144	100.1	9334	-1.41	101.9	-1.47

資料29　鉄筋の発錆試験結果（蒸気養生、屋外暴露試験）

暴露材齢	試験水準	供試体No.	鉄筋位置	発錆面積率(%)			
				茨城県つくば市		新潟県親不知	
				かぶり 1cm	かぶり 2cm	かぶり 1cm	かぶり 2cm
1年	E40	1	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	E50	1	打設面	0.84	0.00	0.63	0.00
			底面	0.45	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.36	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	N40	1	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	N50	1	打設面	0.32	0.00	0.17	0.00
			底面	0.00	0.00	0.05	0.00
		2	打設面	1.72	0.00	1.02	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
2年	E40	1	打設面	0.00	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
		2	打設面	0.16	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	E50	1	打設面	0.00	0.00	5.94	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.45
		2	打設面	1.43	0.00	0.10	0.00
			底面	0.24	0.00	0.17	0.00
	N40	1	打設面	0.03	0.00	0.96	0.00
			底面	0.00	0.00	1.91	0.00
		2	打設面	0.25	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	0.00	0.00
	N50	1	打設面	3.45	0.00	17.44	0.00
			底面	2.07	0.00	1.10	0.00
		2	打設面	6.58	0.00	0.00	0.00
			底面	0.00	0.00	1.14	0.00

資料30　塩化物イオン量測定結果（蒸気養生、屋外暴露試験）

暴露材齢	暴露場所	試験水準	塩化物イオン量 (kg/m³)				
			0～1cm	1～2cm	2～3cm	3～5cm	5～7.5cm
1年	親不知	E40	0.622	0.322	0.300	0.277	0.254
		E50	0.435	0.320	0.229	0.229	0.252
		N40	0.345	0.092	0.069	0.069	0.115
		N50	0.320	0.160	0.091	0.046	0.114
	つくば	E40	—	—	—	—	—
		E50	0.343	—	—	—	0.298
		N40	—	—	—	—	—
		N50	0.046	—	—	—	0.114
2年	親不知海側	E40	0.645	0.300	0.254	0.277	0.300
		E50	0.641	0.366	0.206	0.206	0.206
		N40	0.575	0.069	0.046	0.069	0.069
		N50	0.480	0.137	0.091	0.023	0.069
	親不知山側	E40	0.668	0.323	0.323	0.277	0.300
		E50	0.687	0.343	0.183	0.183	0.206
		N40	0.713	0.092	0.069	0.046	0.069
		N50	0.503	0.114	0.069	0.046	0.069
	つくば	E40	—	—	—	—	—
		E50	0.252	—	—	—	0.275
		N40	—	—	—	—	—
		N50	0.069	—	—	—	0.023

資料 31　ひび割れ発生荷重および終局耐力の計算方法

はりのひび割れ荷重と曲げ断面耐力、鉄筋およびコンクリートの応力の算出は以下の様に行った。先ず、ひび割れ荷重については、式(1)に示す様にコンクリートの全断面を有効として、コンクリートの引張側の応力が引張り強度に達した時点でひび割れるとして算出した。

次に、ひび割れ後のコンクリートの圧縮縁および鉄筋応力は、式(2)に示す様に、コンクリートの引張応力を無視した弾性解析により中立軸比と共に算出した。この場合、鉄筋が降伏応力に達するか、コンクリートが圧縮強度に達するかいずれかの場合までの範囲で算出した。

更に、終局耐力については、応力ブロックの仮定を用いて式(3)により算出した。また、終局時の釣り合い鉄筋比は式(4)により求めた。

なお、計算にはコンクリート強度や鉄筋降伏強度等の実測データ、実験に供した梁の実寸法を用いた。資料表 31 には、これら計算に使用したデータを整理して示している。

$$M = \frac{1}{6} b h^2 \sigma_{ct}, \qquad P = \frac{2M}{L} \qquad \cdots (1)$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma'_c &= \frac{\dfrac{M}{bd^2}}{\dfrac{1}{2}k\left[1-\dfrac{k}{3}\right]}, \qquad \sigma_s = \frac{1-k}{k} n \sigma'_c \\ k &= -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots (2)$$

$$\left.\begin{aligned} M_u &= bd^2 p f_y \left[\, 1 - \frac{k_2 p f_y}{\beta_1 k_3 f'_c} \,\right] \\ k_2 &= \frac{\beta_2}{2} \quad 、\quad k = \frac{p f_y}{\beta_1 k_3 f'_c} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots (3)$$

$$\left.\begin{aligned} p_b &= \frac{A_s}{bd} = \beta_1 k_3 \frac{\varepsilon'_{cu}}{\varepsilon'_{cu} + \varepsilon_y} \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \\ \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s}, \qquad \varepsilon'_{cu} = 0.0035, \qquad \beta_1 = 0.8, \qquad k_3 = 0.85 \end{aligned}\right\} \qquad \cdots (4)$$

資料表 31-1　計算に用いた梁のデータ

	b (mm)	d (mm)	p	fy (N/mm²)	f'c (N/mm²)	εy	εcu	Es (N/mm²)	Ec (N/mm²)
E-25-40	250	243	0.0250	376	52.7	0.00207	0.00350	181.3	33.63
E-32-40	250	242	0.0394	382	52.7	0.00207	0.00350	184.9	33.63
E-38-40	250	243	0.0563	365	52.7	0.00209	0.00350	174.5	33.63
N-25-40	250	244	0.0249	376	48.9	0.00207	0.00350	181.3	32.70
N-32-40	250	244	0.0391	382	48.9	0.00207	0.00350	184.9	32.70
N-38-40	250	243	0.0563	365	48.9	0.00209	0.00350	174.5	32.70

資料表 31-2　略記号とその意味

記号	意味	記号	意味	記号	意味
M	はり中央モーメント	k	中立軸比	f_y	鉄筋降伏強度
P	載荷荷重	σ'_c	コンクリートの圧縮応力	F'_c	コンクリート強度
L	載荷点と支点間距離 (=0.7m)	σ'_s	鉄筋の引張応力	E_s	鉄筋のヤング係数
h	梁せい	p	鉄筋比	E_c	コンクリートの静弾性係数
b	梁幅	p_b	釣り合い鉄筋比	ε_y	鉄筋降伏ひずみ
d	有効梁せい	n	弾性係数比 (Es/Ec)	ε'_{cu}	コンクリートの終局ひずみ
σ_{ct}	コンクリートの引張強度	M_u	終局モーメント	—	—

資料32　フレッシュコンクリート中の水に含まれる塩化物イオン量測定結果

配合条件				セメント中のCl量	セメントに起因するコンクリート中のCl量 (kg/m³)	塩化物イオン量測定結果 (kg/m³)			
						簡易法	電位差滴定法		
セメント種類	単位水量 (kg/m³)	W/C (%)	単位セメント量 (kg/m³)				30分	60分	90分
E11/1 R0	158	55	287	0.041%	0.11767	0.040	0.057	0.060	0.062
	158	45	351	0.041%	0.14391	0.049	0.070	–	–
	158	65	243	0.041%	0.09963	0.032	0.051	–	–
E11/1 R1	158	55	287	0.042%	0.12054	0.044	0.062	0.064	0.066
	158	45	351	0.042%	0.14742	0.049	0.075	–	–
	158	65	243	0.042%	0.10206	0.033	0.053	–	–
E11/23 R0	158	55	287	0.037%	0.10619	0.049	0.069	0.070	0.071
	158	45	351	0.037%	0.12987	0.059	0.087	–	–
	158	65	243	0.037%	0.08991	0.047	0.063	–	–
E11/23 R1	158	55	287	0.038%	0.10906	0.051	0.074	0.076	0.076
	158	45	351	0.038%	0.13338	0.062	0.091	–	–
	158	65	243	0.038%	0.09234	0.045	0.069	–	–
N	156	55	284	0.011%	0.03124	0.035	–	–	–

資料 33　発表論文リスト

1) 寺田剛、明嵐政司:「都市ごみ焼却灰を主原料としたセメントの低塩素化とコンクリートの特性」、コンクリート工学、Vol. 37、No. 8、pp. 26-30、1999. 8

2) 明嵐政司、寺田剛：「ごみ焼却灰のコンクリート材料への利用に関する研究」、第 23 回日本道路会議　一般論文集（A）、pp. 90-91、1999. 10

3) 寺田剛：「都市ゴミ焼却灰のコンクリート材料への利用」、月刊建設、Vol. 43、No. 11、pp. 18-20、1999. 11

4) 寺田剛、明嵐政司：「都市ごみ焼却灰等を主原料としたセメントとコンクリートの性状試験」、土木技術資料、Vol. 42、No. 5、pp. 58-63、2000. 5

5) 吉本稔、河野広隆、明嵐政司、江里口玲、早川隆之：「普通形エコセメントの蒸気養生特性に関する研究」、土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集、V-132、2000. 9

6) 中村俊彦、寺田剛、明嵐政司:「低塩素型省エネセメントを用いたコンクリートの長期耐久性状」、土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集、V-136、2000. 9

7) 宍戸薫、鈴木勲、田中敏嗣、中村俊彦：「普通形エコセメントを用いた園路舗装コンクリートの性状」、土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集、V-137、2000. 9

8) 都市ごみ焼却灰を用いた鉄筋コンクリート材料の開発に関する共同研究（中間報告書）、土木研究所共同研究報告書第 259 号、2000. 12

9) 吉本稔、江里口玲、早川隆之、明嵐政司、河野広隆：「蒸気養生下における普通形エコセメントを用いたコンクリートの諸特性」、太平洋セメント研究報告 第 139 号、pp. 28-36、2000

10) 宍戸薫、鈴木勲、田中敏嗣、中村俊彦：「普通形エコセメントのマスコンクリートへの適用に関する検討」、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、V-210、2001. 10

11) 中村俊彦、明嵐政司、河野広隆、田中敏嗣、石田征男：「普通形エコセメントを用いたコンクリートの暴露試験」、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、V-211、2001. 10

12) 石田征男、横山滋、宍戸薫、鈴木勲、明嵐政司：「普通形エコセメントを用いた園路舗装コンクリートの耐久性」、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、V-213、2001. 10

13) 吉本稔、江里口玲、早川隆之、重原俊朗、植村清美、明嵐政司、中村俊彦：「普通形エコセメントを用いた道路製品の試験施工」、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、V-214、2001. 10

14) 早川隆之、吉本稔、江里口玲、鈴木勲、宍戸薫、河野広隆、中村俊彦：「普通形エコセメントを用いた大型道路用コンクリート製品の試験施工」、土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集、V-215、2001. 10

15) 鈴木勲、宍戸薫、田中敏嗣：「エコセメントコンクリートを用いた園路舗装」、第 24 回日本道路会議 一般論文集（C）、pp. 474-475、2001. 10

16) 宍戸薫、鈴木勲、武本敏男：「エコセメントコンクリート利用技術開発」、東京都土木技術研究所年報、pp. 73-82、2000

17) 宍戸薫、鈴木勲、武本敏夫：「エコセメントコンクリート利用技術開発（その 2）」、東京都土

木技術研究所年報、pp. 55-64、2001

18) 中村俊彦、明嵐政司：「エコセメントの鉄筋コンクリートへの適用（1）」、月刊建設、Vol. 45、No. 10、pp. 50-51、2001. 10

19) 宍戸薫、三上幸範：「エコセメントの鉄筋コンクリートへの適用（2）」、月刊建設、Vol. 45、No. 11、pp. 42-43、2001. 11

20) 中村俊彦、明嵐政司、河野広隆、田中敏嗣、横山滋：「普通エコセメントを用いたコンクリート中の塩化物イオン量の検査方法について」、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集、V-217、2002. 9

21) 田中敏嗣、石田征男、中村俊彦、明嵐政司、河野広隆：「普通エコセメントを用いたコンクリートの屋外暴露による耐久性に関する検討」、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集、V-219、2002. 9

22) 石田征男、堤博文、酒木哲也、木村正尚、中村俊彦、明嵐政司、河野広隆：「普通エコセメントを使用したコンクリートの促進耐久性試験結果」、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集、V-220、2002. 9

23) 早川隆之、江里口玲、吉本稔、三上幸範、中山公男、明嵐政司、中村俊彦：「普通エコセメントを用いた道路用製品の試験施工追跡調査」、土木学会第57回年次学術講演会講演概要集、V-221、2002. 9

24) 宍戸薫、鈴木勲、武本敏夫：「エコセメントコンクリート利用技術開発（その3）」、東京都土木技術研究所年報、pp. 113-120、2002

25) 都市ごみ焼却灰を用いた鉄筋コンクリート材料の開発に関する共同研究報告書（マニュアル編）、土木研究所共同研究報告書第280号、2002. 3