

---

# 弾性波法に基づいたコンクリート材料の 非破壊的破壊制御に関する研究

---

1 6 2 0 6 0 4 5

平成16年度～平成19年度科学研究費補助金  
(基盤研究 (A)) 研究成果報告書

平成 20 年 4 月

研究代表者 大 津 政 康

熊本大学大学院教授

<はしがき>

コンクリートの破壊現象に関して最近の問題点を考えれば、防災の対象となる地震災害の軽減化、事故等による衝撃的破壊や剥離崩落の防止、資源活用でのリサイクル骨材の製造など、いずれも破壊の制御が対象となっている。そこで、コンクリート材料の破壊制御を、従来から多く見られる材料開発の研究ではなく、既設コンクリートを対象に、非破壊的に監視と機構解明を行って破壊を制御する手法の開発を研究することにした。

具体的には、コンクリート材料の破壊理論と動的な外力による破壊特性を明らかにし、それを基礎としてアコースティック・エミッション（AE）法による機構同定と監視法の確立、弾性波法による破壊過程の監視について研究し、これらの成果から実用的な破壊制御法を検討した。

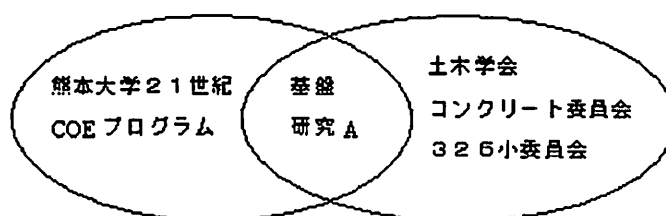


図1 他の研究活動と本研究との関連図

研究代表者は、熊本大学 21 世紀 COE プログラム「衝撃エネルギー科学の深化と応用」においてサブリーダーとして「破壊制御」を担当していた。従って、本研究申請は、それとの連携を考慮し、衝撃破壊に留まらずコンクリート材料の一般環境での破壊制御を検討するという特色を有していた。一方で、代表者の主催する(社)土木学会コンクリート委員会 326 小委員会「弾性波法による非破壊研究小委員会」では、弾性波法によるコンクリートの非破壊試験方法について研究活動を実施した。そこで、破壊制御方法として弾性波法に着目し、非破壊的な破壊監視と破壊機構の解明による破壊制御について検討することにした。このように、異なる組織の 2 種の研究活動を背景に、破壊制御という独創的な概念のもとで研究を推進した点が、本研究の特色であった。

ここにまとめられた研究成果は、地震災害では破壊の軽減化、衝撃破壊や剥離崩落ではその予防と防止、経年劣化が問題とされている既設コンクリート構造物の経年劣化では予測や補修・補強工法の決定、さらには、リサイクル骨材の製造などの各種の分野への応用が期待できると考えている。

## 研究組織

研究代表者 : 大津 政康 (熊本大学大学院教授)  
研究分担者 : 重石 光弘 (熊本大学大学院准教授)  
研究分担者 : 友田 祐一 (熊本大学工学部技術部技術職員)  
研究分担者 : 鎌田 敏郎 (大阪大学大学院教授)  
研究分担者 : 渡辺 健 (徳島大学大学院助教)  
研究分担者 : 鈴木 哲也 (日本大学生物資源科学部助手)  
(研究協力者) : Jan G. M. van Mier (スイス連邦工科大学工学部教授)  
(研究協力者) : Mike C. Forde (エディンバラ大学工学部教授)

## 交付決定額 (配分額)

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 1 6 年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
平成 1 7 年度	14,600,000	4,380,000	18,980,000
平成 1 8 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
平成 1 9 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
総 計	37,100,000	11,130,000	48,230,000

## 研究発表

### (1) 雑誌論文

- 1) T. Suzuki and M. Ohtsu, "Quantitative Damage Evaluation of Structural Concrete by a Compression Test based on AE Rate Process Analysis," J. Construction and Building Materials, Vol.18, 197-202, 2004
- 2) M. Ohtsu and Y. Tomoda, "Corrosion Monitoring in Reinforced Concrete by AE," Journal of AE, Vol. 21, 157-165, 2004
- 3) M. Ohtsu, "Acoustic Emission for Structural Integrity of Concrete from Fresh to Damaged," Key Engineering Materials, No. 270-273, 543-548, 2004
- 4) M. Shigeishi, J. Shimazaki and M. Ohtsu, "Observation of Internal Cracking in Concrete by Virtual Reality Modeling of AE Moment Tensor Analysis," Key Engineering Materials, No. 270-273, 1631-1637, 2004
- 5) Ninel Ata, S. Mihara and M. Ohtsu, "BEM Analysis on Dynamic Behavior of Concrete Member due to Impact," 土木学会論文集, No. 795, 157-163, 2005

- 6) M. Ohtsu, "Nondestructive Evaluation of Damaged Concrete due to Freezing and Thawing by Elastic-Wave Method," *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 3, No. 3, 2005, 33-342, 2005
- 7) 小島政則, 鎌田敏郎, 泉肇, 大岡浩明, "水中にあるコンクリートのテストハンマー強度に関する研究," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1663-1668, 2005
- 8) 池上和司, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 六郷恵哲, "セメントペーストの凝結硬化過程における超音波伝播特性," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1669-1674, 2005
- 9) 鬼塚哲雄, 鎌田敏郎, 浅野雅則, 下村雄介, "弾性波挙動に基づくコンクリート管のひび割れ評価," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1675-1680, 2005
- 10) 川嶋雅道, 鎌田敏郎, 内藤翔太, 六郷恵哲, "インパクトエコー法により検出可能なコンクリート中の空隙の大きさと深さについて," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1693-1698, 2005
- 11) 山口岳思, 鎌田敏郎, 寺田孝, 六郷恵哲, "超音波によるコンクリートひび割れ注入材の充填確認方法," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1681-1686, 2005
- 12) 西畑清華, 渡邊 健, 橋本親典, 大津政康, "AE 法による再生骨材を用いたコンクリートの破壊性状の評価," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1729-173, 2005
- 13) 藤垣敏博, 渡邊健, 橋本親典, 大津政康, "SIBIE を用いた PC グラウトの充填評価の画像処理手法に関する検討," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1705-1710, 2005
- 14) 渡邊 健, 橋本親典, 大津政康, 水口裕之, "インパクトエコー法における鉄筋の影響に関する考察," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 1, 1699-1704, 2005
- 15) 重石 光弘, 伊藤 剛, 橋 吉宏, 松井 繁之, "鋼コンクリート合成床版の輪荷重走行試験におけるアコースティックエミッションの観察," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 27, No. 2, 1267-1272, 2005
- 16) S. Colombo, M. C. Forde, I. G. Main, J. Halliday and M. Shigeishi, "AE Energy Analysis on Concrete Bridge Beams," *Materials and Structures*, Vol. 38, No. 283, 851-856, 2005
- 17) S. Colombo, M. C. Forde, I. G. Main and M. Shigeishi, "Predicting the Ultimate Bending Capacity of Concrete Beams from the "Relaxation Ratio" Analysis of AE Signals," *Construction and Building Materials*, Vol. 19, No. 10, 746-754, 2005
- 17) 鈴木哲也, 米野現樹, 池田幸史, 大津政康, "コア・コンクリートのAEレートプロセス解析に基づく損傷度評価に関する研究," *土木学会論文集*, No. 809, 29-40, 2006
- 18) 重石 光弘, 浪平 隆男, 大津 政康, 秋山 秀典, "パルスパワーによるコンクリートからの粗骨材の分離回収," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1475-128, 2006
- 19) F. Uddin, M. Shigeishi and M. Ohtsu, "Fracture Mechanics of Corrosion Cracking in Concrete by AE," *MECCANICA*, No. 41, 425-442, 2006
- 20) 内田慎哉, 鎌田敏郎, 大津政康, "橋梁PC桁でのグラウト充填状況の調査におけるSIBIEの適用," *コンクリート構造物の補修・補強アップグレード論文報告集*, Vol. 6, 376-386, 2006

- 21) M. Ohtsu, F. Uddin, W. Tong and K. Murakami, "Dynamic Spall Failure in Fiber Reinforced Concrete due to Blasting," *J. Construction and Building Materials*, No. 21, 511-518, 2006
- 22) 下村雄介, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 六郷恵哲, "超音波に基づく表面から深さ方向へのコンクリートの品質評価手法," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1907-1912, 2006
- 23) 山口佳祐, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 六郷恵哲, "コンクリートひび割れ注入材の充填度評価における超音波伝播特性値の活用," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1901-1906, 2006
- 24) 伊岐見哲也, 鎌田敏郎, 内田慎哉, "表面を油で覆われた粗骨材を用いたコンクリートにおける AE 法による圧縮破壊性状の評価," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1973-1978, 2006
- 25) 浅野雅則, 鎌田敏郎, 田中洋輔, 皆木卓士, "鉄筋コンクリート管に生じるひび割れの方方向性と弾性波伝播特性の関係," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1961-1966, 2006
- 26) 川嶋雅道, 鎌田敏郎, 古本吉倫, 六郷恵哲, "FEM 解析を援用したインパクトエコー法による PC グラウト充填状況の評価," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1829-1834, 2006
- 27) 田中洋輔, 鎌田敏郎, 石田 誠, 浅野雅則, "周波数分布のパターン認識を活用した衝撃弾性波法によるコンクリート管のひび割れ評価," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1955-1960, 2006
- 28) 川崎逸雄, 鎌田敏郎, 内田慎哉, "潤滑油に曝されるコンクリート構造物における劣化事例," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 671-676, 2006
- 29) 内田慎哉, 鎌田敏郎, 大津政康, "橋梁 PC 桁でのグラウト充填状況の調査における SIBIE の適用," *コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集*, 第 6 巻, 379-386, 2006
- 30) 渡邊 健, 西畑清華, 橋本親典, 大津政康, "振動付与練混ぜにより製造した再生骨材コンクリートの AE 法による品質評価," *材料*, Vol. 55, No. 10, 917-922, 2006
- 31) 西畑清華, 渡邊 健, 橋本親典, 大津政康, "再生骨材コンクリートの AE 発生特性の検討," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1991-1996, 2006
- 32) 野上 茜, 渡邊 健, 橋本親典, 大津政康, "弾性波伝播速度の計測における波長とコンクリート部材寸法の影響," *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 28, No. 1, 1985-1990, 2006
- 33) S. Nishibata, T. Watan, C. Hashimoto and K. Kohno, "Evaluation of Fracture in Concrete with Recycle Aggregate by Acoustic Emission," *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 20, No. 25, 3652-3657, 2006
- 34) 浪平 隆男, 中島 一行, 黒木 香里, 友田 祐一, 勝木 淳, 大津 政康, 重石 光弘, 村上 彰, 喜屋武 毅, 佐久川 貴志, 秋山 秀典, "水中パルス放電方式骨材再生技術," *電気学会論文誌 A*, Vol. 26, No. 3, 197-198, 2006

- 35) Ninel Ata, S. Mihara and M. Ohtsu, "Imaging of UngROUTED Tendon Ducts in Prestressed Concrete by Improved SIBIE," NDT & E International, Vol. 40, No. 3, 258-264, 2007
- 36) T. Suzuki, M. Ohtsu and M. Shigeishi, "Relative Damage Evaluation of Concrete in a Road Bridge by AE Rate Process Analysis," Materials and Structures, Vol. 40, No. 2, 221-227, 2007
- 37) Ninel Alver, K. Takaki and M. Ohtsu, "Visual Identification of Surface-Crack Depth in Concrete by SIBIE," セメント・コンクリート論文集, No. 60, 199-204, 2007
- 38) 鈴木哲也, 大津政康, "非破壊弾性波モニタリングに基づく埋設型配管施設の通水性能評価に関する研究," 材料と施工, No. 45, 41-48, 2007
- 39) M. Ohtsu, Y. Tomoda and T. Suzuki, "Damage Evaluation and Corrosion Detection in Concrete by AE," Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, 981-989, 2007
- 40) K. Ohno, S. Shimozono and M. Ohtsu, "Cracking Mechanisms of Diagonal-Shear Failure monitored and identified by AE-SiGMA Analysis," Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, 991-998, 2007
- 41) Ninel Alver and M. Ohtsu, "SIBIE Procedure for Identification of UngROUTED Post-Tensioning Ducts in Concrete," Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, 999-1003, 2007
- 42) M. Tokai and M. Ohtsu, "Evaluation of the Surface-Crack Depth in Concrete by Impact-Echo Procedures," Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, 1005-1010, 2007
- 43) T. Suzuki and M. Ohtsu, "AE Monitoring of a Concrete Pipe for Damage Evaluation under Cyclic Loading," Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vol. 2, 1019-1022, 2007
- 44) M. Ohtsu and Y. Tomoda, "AE Techniques for Rebar Corrosion in Reinforced Concrete," Advances in Construction Materials, Vol. 1, 615-621, 2007
- 45) 帖佐 学, 大津政康, "フレッシュコンクリートの振動締固め過程の解析的評価," 材料, Vol. 56, No. 8, 713-717, 2007
- 46) M. Ohtsu, "Corrosion Process in Reinforced Concrete identified by AE," Materials Transactions, Vol. 48, No. 6, 1184-1189, 2007
- 47) 友田祐一, 木嶋政智, 森 香奈子, 大津政康, "非破壊検査法によるコンクリート中の鉄筋腐食に関する評価," コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No.2, 763-768, 2007
- 48) 渡海雅信, 中居陽子, 山田雅彦, 大津政康, "SIBIE を用いたひび割れ深さ評価への鉄筋の影響について," コンクリート構造物の補修, 補強アップグレード論文報告集, Vol. 7, 409-414, 2007
- 49) A. K. M. Farid Uddin, M. Ohtsu, K. M. A. Hossain and M. Lachem, "Simulation of Reinforced-Corrosion-Induced Crack Propagation in Concrete by AE Techniques and BEM Analysis," Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 34, No. 10, 1197-1207, 2007
- 50) 内田慎哉, 鎌田敏郎, 大内 一, 川満逸雄, "鉱物油中におけるコンクリートの圧縮疲労試験時の AE 特性," コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 1, 855-860, 2007

- 51) 中根基之, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 古本吉倫, ”インパクトエコー法によるコンクリート内部空隙の評価に与える弾性波の入力周波数の影響,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 643-648, 2007
- 52) 大西弘志, 岡田裕昭, 内田慎哉, 鎌田敏郎, ”道路橋 RC 床版における疲労劣化と振動特性の関係に関する基礎的研究,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 3, 1693-1698, 2007
- 53) 宗像晃太郎, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 森 和也, ”電磁パルスにより加振したコンクリート内部鉄筋の振動特性に関する基礎研究,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 781-786, 2007
- 54) 峯澤博行, 鎌田敏郎, 宮里心一, 黒田一郎, 大西弘志, ”鉄筋腐食の生じた RC はりの力学性能評価における非破壊試験の活用,” コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 7 巻, 425-432, 2007
- 55) T. Kamada, S. Uchida, H. K. Chai, ”Impact-Elastic Wave Methods for Evaluation of Grouting Condition in Tendon Ducts in PC Structures,” Proc. International Seminar on Durability and Lifecycle Evaluation of Concrete Structures, 171-180, 2007
- 56) 細見 素康, 渡邊 健, 伊達 重之, 橋本 親典, ”AE 法を用いた分割練混ぜ工法による再生骨材コンクリートの品質評価,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 649-655, 2007
- 57) 西岡 啓介, 渡邊 健, 橋本 親典, 大津 政康, ”弾性波における入力波長と部材寸法の関係が弾性波伝播速度に及ぼす影響,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 655-660, 2007
- 58) 藤垣 博敏, 渡邊 健, 橋本 親典, 大津 政康, ”グラウトの硬化過程がインパクトエコー法による充填評価に与える影響,” コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 637-642, 2007
- 59) T. Watanabe, S. Nishibata, C. Hashimoto and M. Ohtsu, ”Compressive Failure in Concrete of Recycled Aggregate by Acoustic Emission, Construction and Building Materials, Vol. 21, 470-476, 2007

## (2) 学会発表

- 1) M. Ohtsu and M. A. Hamstad, ”Moment Tensor Analysis of In-Plane Theoretical Waves by SiGMA-2D,” 47th AEWG Meeting, Pensilvania St. Univ., 2004. 7/2
- 2) T. Kamada, S. Uchida, K. Ikegami, K. Rokugo, ”Continuous Monitoring of Setting and Hardening Process of Cement Paste by Ultrasonic Technique,” Proc. the 3<sup>rd</sup> International Conference on Construction Materials ConMat05', Vancouver, 2005. 8
- 3) T. Kamada, S. Uchida, M. Asano, T. Minagi, ”Studies on NDT of Concrete Sewer Pipe by using Impact Elastic-Wave Methods,” Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Construction Materials ConMat05', Vancouver, 2005. 8

- 4) M. Shigeishi, M. Ohtsu and T. Ito, "Acoustic Emission Capability of Concrete Superstructure under Progressive Damage by Repeatedly Bending Load, Proc. 3rd U.S.-Japan Symposium on Advancing Applications and Capabilities in NDE, Hawaii, 287-293, 2005. 7
- 5) M. Shigeishi, T. Ito, Y. Tachibana, H. Ito and S. Matsui, "Development of An Inspection Method for Steel/Concrete Composite Slab by Using Acoustic Emission Technique, Construction Materials ConMat05', Vancouver, Aug. 2005. 8
- 6) 山田晃司, 大津政康, "固体の波動共振が支配する衝撃破壊機構の解明," 土木学会西部支部研究発表会, 九州大学, 2005. 3/5
- 7) Ninel Ata, 大津政康, "Analytical Study on Peak Frequencies in the Impact-Echo and Location of Reflectors," 第 59 回セメント技術大会, 東京, 2005. 5/26
- 8) 重石光弘, 浪平隆男, 大津政康, "コンクリート用粗骨材の再生技術への電気パルスパワーの利用," 第 60 回土木学会年次学術大会, 早稲田大学, 2005. 9/8
- 9) 米野現樹, 鈴木哲也, 大津政康, "AE レートプロセス解析による既設構造物の定量的損傷度評価," 第 60 回土木学会年次学術大会, 早稲田大学, 2005. 9/9
- 10) 高木耕一, 三原真一, 大津政康, "SIBIE によるひび割れ欠陥の検出性能に関する考察," 第 60 回土木学会年次学術大会, 早稲田大学, 2005. 9/9
- 11) 鈴木哲也, 米野現樹, 大津政康, "AE 法を用いたコンクリート力学特性の推定に基づく損傷度評価に関する研究," 第 15 回 AE 総合コンファレンス, 関西大学, 2005. 12/1
- 12) 友田祐一, 大津政康, 古川智洋, "AE 法による鉄筋コンクリートの鉄筋腐食に関する定量的考察," 第 15 回 AE 総合コンファレンス, 関西大学, 2005. 12/2
- 13) T. Watanabe, C. Hashimoto and M. Ohtsu, "NDT for Detecting Voids in Post-Tensioning Tendon Duct by SIBIE," 11th International Conference on Fracture, Turin, 2005. 3
- 14) 重石 光弘, "AE 法の鋼コンクリート合成床版の保全における有用性, 第 15 回アコースティックエミッション総合コンファレンス論文集, Vol. 15, 149-152, 2005. 12
- 15) M. Shigeishi, Y. Tomoda, T. Ogasawara, T. Ito and Y. Tachibana, "Acoustic Emission from Fissured Steel Plate Deck of Road Bridge," Structural Faults & Repair-2006, Edinbrough, 2006. 6
- 16) Ninel Alver, 高木耕一, 大津政康, "Visual Identification of Surface-Crack Depth in Concrete by SIBIE," 第 60 回セメント技術大会, 東京, 2006. 7/25
- 17) K. Ohno and M. Ohtsu, "AE Waves due to Leakage analyzed by SiGMA-2D," 49th AEWG Meeting, California Univ., Berkeley, 2006. 7/21,
- 18) 鈴木哲也, 大野健太郎, 大津政康, "AE 現象のカイザー効果を用いた既設配管材の損傷度・既往載荷履歴評価," 非破壊検査協会春季大会, 東京, 2006. 5/24
- 19) 大野健太郎, 大津政康, "漏洩による AE 波動の SiGMA-2D 解析の適用," 非破壊検査協会春季大会, 東京, 2006. 5/24
- 20) 大津政康, "AE モーメントテンソル解析 SiGMA-2D の最近の展開," 非破壊検査協会春季大会, 東京, 2006. 5/24

- 21) Ninel Alver and M. Ohtsu, "Confirmation of SIBIE by 3D-BEM Analysis," 非破壊検査協会春季大会, 東京, 2006. 5/24
- 22) M. Ohtsu and Farid Uddin, "Crack Extension due to Corrosion by SiGMA-AE and BEM," 16th European Conf. on Fracture, Greece, 2006. 7/5
- 23) S. Uchida, T. Kamada and M. Ohtsu, "Detection of Voids within Tendon Ducts in Existing PC Bridges by SIBIE," International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, Fukuoka, 2007.9
- 24) T. Watanabe, S. Nishibata, C. Hashimoto and M. Ohtsu, "AE Behavior of Concrete with Low-Treated Recycled Aggregate in Compression Test," Structural Faults & Repair 2006, Edinbrough, 2006. 6
- 25) 山田雅彦, 渡海雅信, 中居陽子, 大津政康, "SIBIE による PC グラウト未充填部の検出," 土木学会西部支部研究発表会, 九州共立大学, 2007. 3/10
- 26) 野口 翔, 磯田俊郎, 大津政康, "凍結融解劣化作用により劣化を受けたコンクリートの共鳴法による評価," 土木学会西部支部研究発表会, 九州共立大学, 2007. 3/10
- 27) 沢田陽佑, 下薮晋一郎, 大野健太郎, 大津政康, "鉄筋コンクリート梁におけるせん断破壊機構の SiGMA 解析," 土木学会西部支部研究発表会, 九州共立大学, 2007. 3/10
- 28) 森 香奈子, 木嶋政智, 友田祐一, 大津政康, "コンクリート中の鉄筋腐食過程の AE 発生挙動による解明," 土木学会西部支部研究発表会, 九州共立大学, 2007. 3/10
- 29) 友田祐一, 木嶋政智, 森 香奈子, 大津政康, "AE 法による鉄筋腐食過程評価の考察," 土木学会第 62 回年次大会学術講演会, 広島大学, 2007. 9/12
- 30) 田邊 武志, 月岡 美佳, 重石 光弘, 大津 政康, 友田 祐一, "アコースティックエミッションワイブル解析によるコンクリート材料の評価," 第 16 回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集, Vol. 16, 45-48, 2007. 9
- 31) K. Ohno, S. Shimozono, Y. Sawada and M. Ohtsu, "Fracture Mechanisms of Diagonal-Shear Failure in Reinforced Concrete Beams analyzed by AE-SiGMA," Int. Conf. on Advanced Technology in Experimental Mechanics, Fukuoka, 2007. 9/13
- 32) M. Tokai and M. Ohtsu, "Improvement of Ultrasonic Testing for Estimation of Surface-Crack Depth in Concrete by SIBIE Procedure," Int. Conf. on Advanced Technology in Experimental Mechanics, Fukuoka, 2007. 9/13
- 33) N. Alver, M. Tokai and M. Ohtsu, "Identification of Imperfectly-Grouted Tendon-Duct in Concrete by SIBIE Procedure," Int. Conf. on NDE for Safety, Prague, Czech Republic, 2007. 11/8
- 34) M. Ohtsu, K. Ohno and M. Tokai, "Visualized NDT for Concrete Cracking by SiGMA-AE and SIBIE," Int. Conf. on NDE for Safety, Prague, Czech Republic, 2007. 11/8,
- 35) T. Watanabe, H. Fujigaki, T. Shiotani, C. Hashimoto and M. Ohtsu, "Effect of Grout Material on Impact-Echo in Repaired Concrete," International Conference on Advanced technology in Experimental Mechanics, Fukuoka, 2007. 9

### (3) 図 書

- 1) 大津政康 編集, (社)土木学会, 弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集, 2004
- 2) 大津政康 共著, 日本放送出版協会, 物質・材料工学と社会, 2005, 85-98
- 3) 大津政康 共著, (社)日本コンクリート工学協会, コンクリート診断技術'05, 2005
- 4) 大津政康, 森北出版, アコースティック・エミッションの特性と理論(第2版), 2005
- 5) 大津政康 共著, (社)日本コンクリート工学協会, コンクリート診断技術'06, 2006
- 6) M. Ohtsu 共著, RILEM Publication, Advanced Testing of Cement-Based Materials during Setting and Hardening, 2006, 255-277
- 7) 大津政康 共著, (社)日本コンクリート工学協会, コンクリート診断技術'07, 2007
- 8) M. C. Forde and M. Ohtsu, Taylor & Francis Company, International State of Practice in the Inspection of Grouted Duct, Post-Tensioned Concrete Bridge Beams and Decks, Chapter 1, 2007

### 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

直接に関連するものは無い。

### 研究成果

コンクリート材料の破壊制御を, 従来から多く見られる材料開発の研究ではなく, 既設コンクリートを対象に, 弾性波を用いて非破壊的に監視と機構解明を行って破壊を制御する手法の開発を研究した。その結果, 以下の付属資料にまとめた多くの成果が得られた。それらの内容を項目毎に簡単に述べれば, 以下のようになる。詳細については, 付属資料を参照されたい。

- 1) AE 法によるコンクリート材料の破壊機構の同定法の開発に関する研究では, 各種の破壊過程の分析や鉄筋腐食過程の解明を行った。(付属資料 - 1~付属資料 - 8)
- 2) 非破壊的な手法による破壊監視法の開発に関する研究では, 内部欠陥の監視法への弾性波の適用性を明らかにし, 実用的な監視法の提案を行った。(付属資料 - 9~付属資料 - 32)
- 3) 動的破壊機構の動弾性理論に基づいた解明に関する研究では, 動的な外力によるコンクリート材料の破壊挙動について理論的に解明し, パリスパワーの骨材のリサイクル化や AE 法の適用性を検討した。(付属資料 - 33~付属資料 - 40)

4)コンクリート材料の破壊機構の解明と破壊制御への適用に関する研究では、海外研究協力者との共同研究を通して、コンクリート材料の破壊制御への破壊力学の適用と内部破壊機構の可視化を行った。(付属資料 - 41～付属資料 - 43)

5)材料の微視的な損傷累積機構の解明では、破壊制御を目的とした材料への損傷力学の適用に関して、AE 計測との融合研究を展開した。(付属資料 - 44～付属資料 - 49)

6)非破壊的な破壊制御法の提案では AE モーメントテンソル解析 (SiGMA) によるひび割れの機構解明、衝撃弾性波による内部欠陥の同定、AE 法による損傷累積過程の評価、動的外力の基準化とそれによる破壊モードの解明など、これまでに述べた研究の全ての成果をとりまとめた。そして、結果を統一的に整理し、コンクリート材料の破壊を目的に応じて制御する手法としてまとめた。(付属資料 - 50～付属資料 - 52)

<あとがき>

21世紀COEプログラム「衝撃エネルギー科学の深化と応用」と土木学会コンクリート委員会326小委員会「弾性波法による非破壊研究小委員会」との本研究課題の関係について<はしがき>では説明したが、後者の小委員会の幹事をお願いした研究分担者の重石、鎌田、渡辺の3氏には、その協力に深く感謝する。

海外研究協力者との関連では、研究代表者が主催するRILEM 研究委員会Technical Committee 212-ACD(Acoustic Emission and related NDE for Crack Detection and Damage Evaluation)との連携が非常に有効であった。そのTCメンバーのスイス連邦工科大のvan Mier教授とは、以前にデルフト工科大学に居た時代からの付き合いがあり、コンクリートの破壊力学や高強度化と破壊機構のAE法による同定に関して、共同での研究と頻繁な相互訪問による検討を行ってきた。今回の研究遂行中には、研究代表者が氏の所属するスイス・チューリッヒETHへのサバティカル滞在を実施し、学術研究交流や学生スタッフの指導と共同実験の遂行など非常に有意義な成果を挙げることができたと考えている。

もう一人の海外研究協力者エディンバラ大のForde教授は、やはりTCのメンバーであり、2002年の文部科学省最先端分野交流による博士課程学生の氏の研究室の学生の研究分担者の重石研究室での研究と、研究代表者の研究室からのインターンシップ学生の2度に及ぶ派遣による共同研究の実施など活発な交流実績がある。本研究の遂行では、2006年と2008年の2度にわたり氏が主催する国際会議”Structural Faults & Repair”において、研究代表者に基調講演の場を与えていただき、本研究に係わる成果が発表できて世界中の研究者との意見交換も含めて成果の公表に非常に有益であった。