

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21246071

研究課題名（和文） 高収縮コンクリート部材の耐久性力学

研究課題名（英文） Durability Mechanics for High Shrinkage Concrete Members

研究代表者

佐藤 良一 (SATO RYOICHI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：20016702

研究成果の概要（和文）：

実構造物で生じた過去にないひび割れの原因となった過大収縮コンクリートの収縮特性、鉄筋コンクリート棒材のかぶり部の透気性および鉄筋コンクリートはりのせん断強度に及ぼす収縮の影響を検討した。その結果、コンクリートの乾燥収縮は骨材の乾燥収縮とヤング係数に強く依存すること、持続引張荷重下で収縮の増大により透気係数が増大すること、鉄筋比が1%程度の場合収縮によりせん断強度が低下する、等の成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

Shrinkage characteristics of high shrinkage concrete which induced unprecedented cracking in a real concrete structure, shrinkage effects on air permeability of reinforced concrete prism shear strength of reinforced concrete beam under sustained tensile load and so on were investigated, which were made with the high shrinkage concrete. Results showed that the drying shrinkage of concrete depended on the drying shrinkage and Young's modulus of aggregates, the air permeability of concrete increases with the increase of drying shrinkage, the shear strength of reinforced concrete beams is decreased by the shrinkage developed before loading when the reinforcement ratio is nearly 1.0%.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	23,100,000	6,930,000	30,030,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	30,600,000	9,180,000	39,780,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：土木材料、鉄筋コンクリート、収縮、破壊エネルギー、せん断強度、内部ひび割れ、透気性

1. 研究開始当初の背景

実構造物で、骨材自身の収縮に起因するコンクリートの過大収縮によるひび割れが生

じ、大きな問題となった。そのため、過大収縮コンクリートの諸特性、それを用いた構造部材の構造性能、耐久性能の解明が求められ

た。

2. 研究の目的

高収縮コンクリートの収縮の実用的な算定式、コンクリートの力学特性、高収縮によるかぶりコンクリート部の透気係数に基づく損傷評価と鉄筋腐食保護性能の評価、高収縮が及ぼす鉄筋コンクリートはりのせん断強度と寸法効果への影響の解明を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 種々の岩種の骨材の乾燥収縮、ヤング係数を実測することによりそれらとコンクリートの乾燥収縮との関係を実験的に検討する。

(2) W/C=0.5、0.35のコンクリートの力学特性を封緘、材齢7日まで封緘その後乾燥暴露の養生条件を検討要因として実験的に検討する。

(3) 断面寸法を3水準に設定し、自由収縮ひずみと鉄筋コンクリートはりの鉄筋ひずみを実測し、コンクリートの拘束力を把握する。さらに、高収縮コンクリートのクリープ解析の基礎データとする。

(4) 乾燥収縮の異なるRC棒材に持続引張載荷試験を行い、透気係数の収缩量への依存性とともに関係試験であらかじめ内部ひび割れを発生させ、塩水による乾湿繰り返しを行った場合の鉄筋腐食開始時期および腐食速度を検討する。

(5) 高収縮コンクリートの破壊エネルギーを通常のコンクリートと比較して明らかにする。

(6) 有効高さを $d=250\text{mm}$ 、 500mm 、 1000mm の3水準に設定し、水セメント比 $=0.5$ 、 0.35 、引張鉄筋比 $=1.06\%$ 、 1.59% の鉄筋コンクリートはりのせん断強度特性に及ぼす収縮の影響を実験的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) コンクリートの乾燥収縮は、骨材の乾燥収縮とヤング係数と強い相関があることを示し、実用に供するためにそれらの関係式を提示した。

(2) 骨材自身が収縮するコンクリートのヤング係数はこれまでいわれているように小さく、W/C=0.5の場合乾燥暴露下では 20kN/mm^2 程度、封緘条件下では 25kN/mm^2 弱、W/C=0.35の場合ではそれぞれ 23kN/mm^2 、 29kN/mm^2 であり、暴露条件の影響を受けることを示した。また圧縮強度に対する引張強度は養生条件の如何に拘わらず土木学会示方書による値と同等以上であった。

(3) 乾燥収縮は土木学会式による値の1.5倍程度と大きく、その寸法依存性は体積/表面積比(V/S)と概ね線形関係にあったが小さ

くなると非線形的に増大する傾向を示した。

(4) 鉄筋コンクリート中の収縮による鉄筋ひずみは、水セメント(W/C)=0.5、断面 $300\text{mm} \times 1130\text{mm}$ 、 $V/S=119\text{mm}$ で鉄筋比(ρ)=0.106%の場合およそ 250μ となり、自由収縮ひずみ 600μ のおよそ40%が拘束されることが明らかになった。この拘束ひずみは鉄筋応力度で 50N/mm^2 に相当しさらに鋼材位置コンクリートに 1.1N/mm^2 の応力を生じさせることになり、ヤング率が小さいというものの、無視し得ない拘束力を発生させることが分かった。また、同一諸元でW/C=0.35の場合には、材齢260日で自由収縮が 570μ 、鉄筋ひずみが320マイクロ生じ、自由収縮のおよそ56%のひずみが鉄筋に導入され、鉄筋には 64N/mm^2 の圧縮応力が、鋼材位置コンクリートには 1.5N/mm^2 の引張応力が蓄積することが明らかになった。

(5) 実測の収縮ひずみと土木学会示方書式による載荷時日数に依存したクリープ係数を用いて鉄筋コンクリート中の鉄筋ひずみを予測した結果、予測精度は、有効材齢60日までの範囲では、経過日数とはりの寸法に依存し、検討期間の材齢が経過した方が、また寸法が大きい方が高い傾向を示した。

(6) 乾燥収縮の異なるRC棒材持続引張載荷試験から収缩量が大きくなれば内部ひび割れ幅が持続的に大きくなり透気係数も増大することを見出した。また、両引き試験であらかじめ内部ひび割れを発生させ、塩水による乾湿繰り返しを行った場合には鉄筋腐食開始時期が早くなり腐食速度も速くなることを示した。

(7) 持続荷重下で塩水噴霧を受ける鉄筋コンクリートはりの長期たわみに及ぼす鉄筋腐食、収縮とその勾配、クリープの影響度を収縮勾配を取り入れて新たに誘導した長期有効曲げ剛性式により評価した。

(8) 低水セメント比コンクリートの自己収縮低減に、破碎値約20%、吸水率9%で内部養生機能を有する廃瓦粗骨材の適用が極めて有効であることを示した。

(9) 砂岩を用いた高収縮コンクリートの破壊エネルギーは、W/C=0.5で乾燥暴露の場合 0.19N/mm^2 、封緘の場合 0.16N/mm^2 、0.35ではそれぞれ 0.20N/mm^2 、 0.17N/mm^2 、であり、W/C=0.35の方が若干大きく、また乾燥暴露の方が大きい傾向があった。これらの値は通常のコンクリートと大きく異なることはなかった。しかし、特性長さは、320-440mmの範囲にあり、いずれのW/Cも乾燥暴露が大きく、封緘の場合はW/C=0.5の方が大きくなった。

(10) 収縮の影響による鉄筋比 $=1.06\%$ のRCはりの斜めひび割れ発生強度低下は、W/C=0.5で有効高さ $d=1000\text{mm}$ の場合、乾燥暴露により封緘条件に比べおよそ12%低下した。寸法依存は封緘条件下では $d^{1/4}$ であった

が、乾燥の影響を受けると $d^{1/3}$ と鋭敏になることを示した。このことは、収縮が寸法効果を助長することを意味するとともに寸法と収縮の連成効果といえ、普通強度の高収縮コンクリートであっても、高強度コンクリートの場合と同様のことを再現できることを示すものである。

(11) 上記(10)の結果を、収縮により鉄筋圧縮ひずみがひび割れとともに解放され、載荷前後の鉄筋ひずみ変化が大きくなることは機能上鉄筋比が減少することと等価であるとする等価鉄筋比の概念に基づいて整理したせん断強度は乾燥の有無に拘わらずほぼ同一の強度になり、さらに寸法効果も $d^{1/4}$ になることを示した。

(12) 上記(10)の結果に対し、土木学会式の原式であるいわゆる二羽式で無次元化した実測値は、封緘の場合寸法によらず 0.9-1.0 の範囲にあり、二羽式は若干過大評価するが寸法則は $d^{1/4}$ に従うことを示した。しかし、乾燥暴露の場合は 0.8-0.9 とさらに過大評価し、特に $d=1000\text{mm}$ の場合は顕著で、寸法効果が $d^{1/3}$ に近づくことを示した。一方、等価鉄筋比で修正した二羽式で無次元化した値は、封緘、乾燥に拘わらず、おおむね 0.9-1.0 の範囲にあり、より実測値に近くなることを示した。

(13) 鉄筋比=1.06%、 $W/C=0.35$ 、 $d=1000\text{mm}$ の場合、二羽式に従い圧縮強度の $1/3$ 乗で無次元化したせん断強度は乾燥暴露により 14%低下した。寸法依存性は封緘の場合ほぼ $d^{2/5}$ に、乾燥暴露の場合はおおむね $d^{1/2}$ であったが、等価鉄筋比で整理すれば強度はいずれもほぼ等しく、また寸法則は $d^{2/5}$ であった。この結果は自己収縮が卓越した $W/B=0.23$ と同様であった。

(14) 鉄筋比が 1.59%に増加された場合は、 $d=1000\text{mm}$ のとき $W/C=0.5$ の場合は圧縮強度差を補正したせん断強度は封緘および乾燥暴露で差は見られなかった。しかし、寸法効果が $d^{2/5}$ の乾燥暴露の方が $d^{1/4} \sim d^{1/3}$ の封緘条件よりも鋭敏であったため、有効高さが小さくなると乾燥暴露のせん断強度が封緘よりも大きかった。

(15) 鉄筋比 1.59%、 $W/C=0.35$ の場合は、有効高さに拘わらずいずれも乾燥暴露のせん断強度が大きくなった。等価鉄筋比で整理した場合の寸法依存性は、せん断強度差があったものの、乾燥暴露、封緘いずれも $d^{2/5}$ であった。

(16) たわみ、せん断変位、鉄筋位置の軸方向変位は、乾燥暴露の影響により増大した。軸方向変位の増大は収縮により圧縮された引張鉄筋ひずみがひび割れとともに解放され、載荷前後のひずみ変化が増大するためである。たわみの増大は収縮と鉄筋拘束により生じる弾性ひずみによる曲率を考慮するこ

とにより増大分を表すことが可能であることを示した。

(17) 以上、高収縮コンクリートの収縮が鉄筋コンクリートはりの力学特性については、変形は増大し、鉄筋比が 1%程度の場合には収縮によりせん断強度は減少し寸法効果も鋭敏になる。しかし、鉄筋比が 1.6%程度になると収縮により、封緘より収縮低減を図った場合の同等以上のせん断強度になった。一方、既往の研究では鉄筋比が 2%以上であっても収縮によりせん断強度が有意に低下する報告もされており、この原因の解明には至らなかったため、今後の課題とした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 27 件)

1. 兵頭彦次, 谷村充, 杉山真悟, 佐藤良一, 骨材のヤング係数・乾燥収縮に基づくコンクリートの乾燥収縮評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, 査読有, 2011, pp. 479-484
2. 太田光貴, 中山紘紀, 兵頭彦次, 佐藤良一, 高収縮コンクリートの収縮特性と寸法依存性について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, 査読有, 2011, pp. 569-574
3. Sato, R., Shigematsu, A., Nukushina, T. and Kimura, M., Improvement of Properties of Portland Blast Furnace Cement Type B Concrete by Internal Curing Using Ceramic Roof Material Waste, JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING, ASCE, Vol. 23, 査読有, 2011, pp. 777-782
4. 吉本徹, 佐藤良一, 舗装用コンクリートの曲げ強度と曲げ疲労強度の寸法効果に関する研究, 土木学会論文集E2 (材料・コンクリート構造), Vol. 67, 査読有, 2011, pp. 181-188
5. 堀口直也, 五十嵐豪, 丸山一平, 含水率の変化による骨材の体積変化に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 1, 査読有, 2011, pp. 131-135
6. Phetkaysone Anongdeth, 佐藤良一, 持続荷重下で塩水・水噴霧を受ける鉄筋コンクリートはりの時間依存性構造挙動, セメント・コンクリート論文集, No. 65, 査読有, 2011. 2, pp. 376-383
7. MEDDAH, M. S., Suzuki, M, and Sato, R., Influence of a combination of expansive and shrinkage-reducing admixture on autogenous deformation and self-stress of silica fume

high-performance concrete, Construction and Building MATERIALS, Vol. 25, 査読有, 2011, pp. 239-250

8. Miyauchi, K. and Shimoeda, H., SEISMIC STRENGTHENING OF EXISTING RC PIERS BY CARBON FIBER GRID AND DRY SPRAYED POLYMER CEMENT MORTAR, Proc. of fib Symposium PRAGUE 2011, 査読有, 2011, pp. 1-10

9. 兵頭彦次, 井坂幸俊, 谷村充, 佐藤良一, コンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす粗骨材物性および収縮低減材料の影響評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2010, pp. 377-382

10. 鈴木雅博, 川畑智亮, 佐藤良一, 低収縮超高強度コンクリートを用いたプレテンション PC 部材の応力損失低減に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2010, pp. 443-448

11. 三谷昂大, 大賀琢麻, 佐藤良一, 実大規模超高強度 RC はりにおける収縮低減とせん断挙動について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2010, pp. 667-672

12. 太田光貴, 三谷昂大, 兵頭彦次, 佐藤良一, 早期材齢における高収縮コンクリートの収縮と収縮応力および寸法依存特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2010, pp. 479-484

13. Phetkaysone Anongdeth, 山田龍平, 佐藤良一, 持続荷重下で腐食進行する RC はり部材の長期構造挙動の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2010, pp. 755-760

14. Yoshimoto, T. and Sato, R., Size Dependence on Flexural Fatigue Strength of Pavement Concrete, 7th International DUT-Workshop on Design and Performance of Sustainable and Durable Concrete Pavements, Theme I, Material 1.3, 査読有, 2010, CD-ROM(14 頁)

15. Ujike, I., Sato, R. and Okazaki, S., "Proposal of effective concrete cover in consideration of deterioration by internal cracking, Proc. of the 2nd International Symposium on Service life Design for Infrastructure, RILEM Publications S. A. R. L., 査読有, 2010, pp. 41-48

16. Phetkaysone, A., Sato, R. and Yamada, R. "Corrosion of reinforcing steel and behaviour of reinforced concrete beams under sustained load", Proc. of the 2nd International Symposium on Service life Design for Infrastructure, RILEM Publications S. A. R. L., 査読有, 2010, pp. 645-654

17. Kawabata, T., Suzuki, M and Sato, R.,

Effect of autogenous shrinkage before prestressing on the prestress loss of pretensioned prestressed concrete beams, Proceedings of 3rd fib International Congress, 査読有, 2010, CD-ROM (ID:657).

18. Shigematsu, A., Sato, R., Nukushina, T. and Kimura, M., Improvement of Properties of B-Type Blast Furnace Slag Cement Concrete by Internal Curing used Ceramic Roof Material Waste as a Part of Coarse Aggregate, the Second International Conference on SCMT, 査読有, 2010, pp. 95-103.

19. Seiki, S, Nukushina, T., Meddah, M. S., and Sato, R., "Effectiveness of Porous Ceramic waste as an internal curing material for Fly Ash concrete", the Second International Conference on SCMT, Ancona, Italy, 査読有, June 2010, pp. 801-811.

20. Suzuki, M., MEDDAH, M. S. , Sato, R. and Kawabata, T., Long-term shrinkage and stress in ultra high strength concrete using porous ceramic waste for internal curing, Proc. of the International RILEM Symposium on Use of superabsorbent polymers and other new additives in concrete, 査読有, 2010, pp. 263-272

21. 関田徹志, 百瀬晴基, 溝淵利明, 佐藤良一, ひび割れ低減コンクリートのケミカルプレストレス予測における線形クリープ則の適用性について, セメントコンクリート論文集, Vol. 63, 査読有, 2010. 2, pp. 233-240

22. MEDDAH, M. S, and Sato, R., Effect of Curing Methods on Autogenous Shrinkage and Self-Induced Stress of High-Performance Concrete, ACI Materials Journal, Vo. 107, 査読有, January-February 2010, pp. 65-74.

23. Suzuki, M, MEDDAH, M. S, and Sato, R., Use of Porous Ceramic Waste Aggregates for Internal Curing of High-Performance Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 39, 査読有, 2009, pp. 373-381.

24. 河金甲, 佐藤良一, 高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価, 土木学会論文集 E, Vol. 65, 査読有, 2009, pp. 179-197.

25. 河金甲, 大賀琢麻, 佐藤良一, せん断補強筋を有する高強度 RC はりのせん断挙動に及ぼす寸法と収縮の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, 査読有, 2009, pp. 763-768

26. Meddah, M. S., Suzuki, M and Sato, R., Shrinkage Reducing Effect of a Combination of Shrinkage-Compensating Agents on High-Performance Concrete, Recent Advances in Concrete Technology and

Sustainability Issues, Proceedings of the 10th ACI International Conference, SP-261, 査読有, 2009, pp. 17-31

27. Anongdeth, P., Ishida, T. and Sato, R., CORROSION CRACKS AND DEFLECTION OF RC BEAMS SUBJECTED TO SALTY WATER SPRAY UNDER SUSTAINED LOAD”, Proceeding of the 2nd International RILEM Workshop on Concrete durability and Service Life Planning(Concretelife’ 09), 査読有, 2009, pp. 55-62

〔学会発表〕(計20件)

1. 中里朝大, 宮澤伸吾, 骨材岩種および乾燥条件がコンクリートの収縮に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会関東支部栃木地区研究発表会, 2012. 3. 6, 宇都宮大学
2. 佐藤良一, 収縮問題の新展開—安全性への警鐘—, 日本学術振興会 76 委員会, 2012. 1. 27, 東京学士会館(基調講演)
3. 佐藤良一, 収縮と構造性能, 日本コンクリート工学会 診断士研修会, 2011. 10. 23, 広島県情報プラザ(基調講演)
4. 中山紘紀, 兵頭彦次, 三谷昂大, 太田光貴, 佐藤良一, RC はりのせん断強度に及ぼす収縮の影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2011. 9. 7, 愛媛大学
5. マチャリア・マーティン・ムワンギ, 太田光貴, 中山紘紀, 佐藤良一, 高収縮骨材を用いたコンクリートの破壊エネルギー特性について, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2011. 9. 7, 愛媛大学
6. 前堀伸平, 宮澤伸吾, 中崎豪士, 谷村充, 100N/mm² 超級超高強度コンクリートの自己収縮評価, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2011. 9. 7, 愛媛大学
7. 兵頭彦次, 三谷昂大, 太田光貴, 中山紘紀, 佐藤良一, コンクリートの収縮が RC はりのせん断挙動に及ぼす影響, コンクリート工学会耐久力学に基づく収縮影響評価に関するワークショップ, 2011. 8. 1, 東京大学弥生講堂
8. Ryoichi Sato, A New Concept for The Shrinkage Effect on Shear Strength and Size Effect of Reinforced Concrete Beams, 2nd Workshop on Control of Cracking in R. C. Structures, 20-22 June, 2011, Paris France (invited)
9. 中山紘紀, 三谷昂大, 太田光貴, 兵頭彦次, 佐藤良一, 普通強度 RC はりのせん断強度に及ぼす収縮の影響, 第 63 回平成 23 年度土木学会中国支部研究発表会, 2011. 5. 21, 岡山大学
10. MACHARIA, M., M., SHIGEMATSU, A. and ONISHI, H., SATO, R., 廃瓦骨材を用いた高炉 B 種コンクリートの破壊エネルギー特性,

第 63 回平成 23 年度土木学会中国支部研究発表会, 2011. 5. 21, 岡山大学

11. 森岡卓也, 氏家勲, 岡崎慎一郎, 収縮に起因するコンクリートの鉄筋保護性能低下, 土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会, 2011. 5. 14, 香川大学

12. 堀口直也, 五十嵐豪, 丸山一平, 各平衡相対湿度における骨材の体積変化, 日本建築学会東海支部学術研究発表会 2011. 2. 19, 名古屋大学

13. Sato, R. and Kawakane, H., A New Concept for Shrinkage Dependent-Shear Strength at Diagonal Cracking of Reinforced High-Strength Concrete Beams, 2nd KCI-JCI-TCI Joint Symposium, 27 Nov. 2010 (invited)

Taipei, Taiwan

14. 河金甲, 佐藤良一, 高強度 RC はりのせん断耐力に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 平成 22 年 9 月 2 日, 北海道大学

15. 三谷昂大, 太田光貴, 横山美穂, 兵頭彦次, 佐藤良一, 乾燥開始材齢が高収縮コンクリートの収縮に及ぼす影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 平成 22 年 9 月 1 日, 北海道大学

16. 三谷昂大, 太田光貴, 横山美穂, 兵頭彦次, 佐藤良一, 乾燥開始材齢が高収縮コンクリートの収縮に及ぼす影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 平成 22 年 9 月 1 日, 北海道大学

17. 五十嵐豪, 堀口直也, 丸山一平, セメント硬化体における体積弾性率の平衡相対湿度依存性, 第 64 回セメント技術大会(セメント協会), 2010. 5. 25, メトロポリタンホテル, 東京

18. 村上展将, 氏家勲, 岡崎慎一郎, 乾燥収縮がかぶりコンクリートの物質移動特性に及ぼす影響に関する研究, 土木学会四国支部第 16 回技術研究発表会, 平成 22 年 5 月 15 日, 徳島大学

19. 三谷昂大, 河金甲, 丹後浩一, 佐藤良一, 廃瓦粗骨材を用いた超高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度の評価について, 第 64 回土木学会年次学術講演会, 平成 21 年 9 月 4 日, 福岡大学

20. 三谷昂大, 大賀琢麻, 丹後浩一, 佐藤良一, 廃瓦粗骨材を用いて収縮低減した超高強度 RC はりのせん断特性, 第 63 回セメント技術大会(セメント協会), 平成 21 年 5 月 20 日, ホテルメトロポリタン, 東京

〔その他〕

佐藤が代表を務める広島大学構造安全・信頼性プロジェクト研究センター主催のシンポジウムにおいて下記の講演を行い地元技術者に広報した。

1. 佐藤良一, 半井健一郎, 収縮が RC はりのせん断強度に及ぼす影響の最新情報, 同上セン

ターと JCI 中国支部との共催、平成 23 年 1 月 28 日、広島工業大学広島校舎

2. 佐藤良一, 過大収縮コンクリートの収縮特性—収縮によるせん断強度低下—, 平成 22 年 8 月 4 日, 参加者 80 名

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 良一 (SATO RYOICHI)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：20016702

(2) 研究分担者

氏家 勲 (UJIKE ISAO)
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：90143669

宮澤 伸吾 (MIYAZAWA SHINGO)
足利工業大学・工学部・教授
研究者番号：10157638

宮内 克之 (MIYAUCHI KATSUYUKI)
福山大学・工学部・教授
研究者番号：80368779

丸山 一平 (MARUYAMA IPPEI)
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号：40363030

石田 剛朗 (ISHIDA TAKEO)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：60420501

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

谷村 充 (TANIMURA MAKOTO)
太平洋セメント (株) 中央研究所・チーム
リーダー

兵頭 彦次 (HYODO HIKOTSUGU)
太平洋セメント (株) 中央研究所・副主任
研究員