

機関番号：13301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760290

研究課題名（和文）鉄筋破断を念頭に置いた ASR 劣化コンクリートの力学的挙動の解明と力学モデルの構築

研究課題名（英文） Mechanical behavior and its modeling of ASR deteriorated concrete in the case of severely damaged such as fracture of steel in the concrete

研究代表者

久保 善司 (KUBO YOSHIMORI)

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号：50324108

研究成果の概要（和文）：過大なアルカリ骨材膨張による劣化被害を受けた構造物の維持管理対策の確立は急務とされている。本研究では、各種反応性骨材を用いて過大膨張を含む ASR 劣化コンクリートの力学的挙動を明らかにすることとした。これらの結果から、粗骨材レベルにおいては骨材種類が膨張に伴う力学的特性に与える影響は顕著でないこと、得られたデータから性能評価を行うための下限値の提案を行うことが可能であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：It is needed to be established the maintenance method for ASR deteriorated concrete due to an excessive expansion. Main purpose of this study is to be clarify the mechanical behavior of ASR deteriorated concrete that made with various aggregate. The expansion of those concrete were over 0.8%. As results, it is cleared that the effect of type of reactive aggregate on the mechanical property is not significant. Furthermore, it can be recommended that the minimum value was designed by using the these obtained mechanical data of ASR deteriorated concrete in order to use for the evaluation the performance of ASR deteriorated concrete member.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：コンクリート，アルカリ骨材反応，維持管理

1. 研究開始当初の背景

鉄筋によって ASR 膨張が適切に拘束されている場合には、ASR 劣化を生じた部材の構造性能の顕著な低下はないものとされてきた。近年、過大な ASR 膨張によって鉄筋破断や内部のコンクリート強度低下を生じ、補強対策が実施されるに至る構造物も報告されている。過大な ASR 膨張を生じた構造物に対する

耐荷性能の適切な評価手法の確立とともに、補修・補強対策を含む適切な維持管理手法の確立が急務となっている。それらの構造物の補修・補強設計においては、コンクリートの圧縮強度、弾性係数などの力学的な特性値が必要になり、さらには、応力-ひずみ曲線などの力学的なモデルも必要とされ、しかし、現状ではこれらの力学的モデル構築のため

の基本的なデータは十分でないため、劣化した構造物から採取したコンクリートコアの圧縮強度や弾性係数などを基に補強設計をせざるを得ない現状にある。採取コアによる場合には、応力解放や寸法の影響も含まれており、設計においては安全側を考慮した上で用いられている。

一方、骨材種類の影響については、我が国の代表的な反応性骨材であるチャートおよび安山岩を用いた各種配合のASR劣化コンクリートの力学的特性に関する検討からは、両者において膨張に伴う圧縮強度特性および微細組織の変化に相違があったことが報告されている。また、海外においては、骨材種類によって生じる膨張進行速度の相違が微細組織の変化に影響を与え、骨材種類が膨張に伴う強度特性に影響を与えるとの報告がある。したがって、過大な膨張段階を含めて、骨材種類が膨張に伴うASR劣化コンクリートの力学的性能に与える影響を明らかにしておく必要とされている。

2. 研究の目的

(1) 合理的な維持管理実施に必要な力学的データおよびその力学モデルの構築を行うため、過大な膨張を含むASR膨張による劣化コンクリートの力学的挙動を詳細に検討することとした

(2) 骨材種類がそれらに与える影響を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1) 骨材の収集および配合決定

我が国の代表的な反応性骨材を収集し、それらの膨張性状を把握し、過大な膨張を生じ得るコンクリート配合を決定した。

(2) 膨張に伴う力学的挙動の変化の把握

決定された配合に基づき、ASRコンクリートを作製し、促進環境下における膨張挙動を把握するとともに、所定の膨張量において圧縮試験を実施した。その際、力学的な挙動を詳細に把握するため、圧縮強度および弾性係数以外に、ポアソン比、限界応力、最大荷重時のひずみ、および吸収エネルギーなどの力学的パラメータを求めることとした。

(3) 骨材種類の影響の検討

過大な膨張量までの各種骨材の力学的パラメータを比較検討を行い、骨材種類が膨張に伴う力学的性能の変化に与える影響について検討を行うこととした。

4. 研究成果

(1) 骨材の収集および配合決定、膨張性状

収集した各種骨材において短期間に過大な膨張が得られる配合を決定した。骨材の選定においては、我が国の代表的な反応性骨材である安山岩およびチャート、さらに、採取

時期や採取箇所によって骨材の反応性が変動することが特徴であり、反応性が顕著に高い場合には、鉄筋破断を生じるに至るような過大な膨張を生じる川砂利の計3種類とした。膨張測定の結果、骨材種類および産地によって、膨張性状（反応性）が異なることが明らかとなった。

(2) 各種骨材の力学的挙動

各種骨材の膨張量が圧縮強度に与える影響を図-1に示す。骨材種類にかかわらず、膨張量が大きいものほど圧縮強度は小さくなった。既往の研究では、膨張に伴い緩やかに低下するとされており、骨材種類にかかわらず0.5%以上の過大な膨張量においても同様の傾向が得られた。ASR劣化コンクリートの圧縮強度は骨材種類にかかわらず膨張に伴い低下すると考えられる。なお、膨張に対する低下割合もチャートを除き概ね同程度であった。

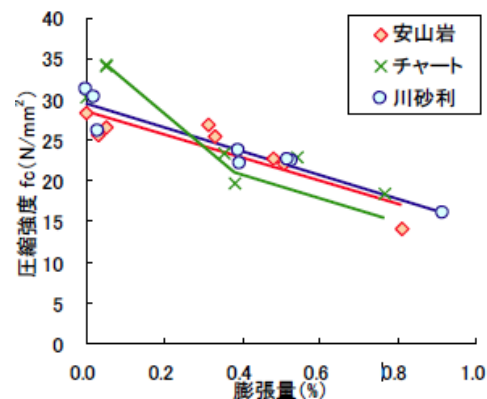


図-1 圧縮強度

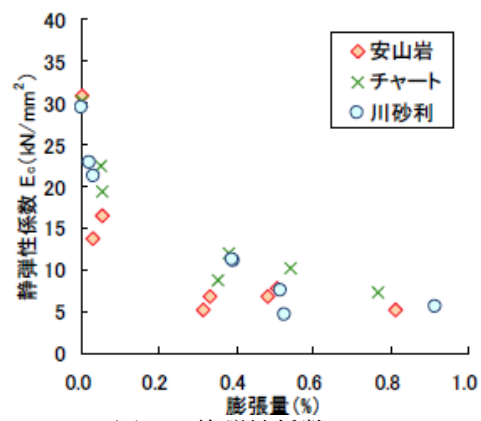


図-2 静弾性係数

各種骨材の膨張量が静弾性係数に与える影響を図-2に示す。安山岩のものは、膨張初期において膨張に伴う急激な静弾性係数の低下を示し、それ以降は緩やかな低下を示した。既往の検討結果と同様の傾向が得られた。

一方、チャートのものでは、膨張初期にお

ける弾性係数の低下は、安山岩のものほど顕著ではなかった。また、その後の弾性係数の低下も他のものより若干小さい傾向にあった。この原因として、膨張速度による影響は小さいとすると、反応タイプが他のものと異なり、ひび割れ性状の相違や膨張開始時期の影響などが考えられる。

各種骨材の膨張量がポアソン比に与える影響を図-3 および図-4 に示す。弾性領域と考えられる最大応力の 33% 時点、および破壊時付近の応力時点として最大応力の 90% 時点のポアソン比を求めた。なお、コンクリートの標準的なポアソン比は 0.14 から 0.20 である。

最大応力の 33% 時点においては、ばらつきは大きいものの、膨張量 0.5% までは概ね同程度、それ以降は膨張量に伴いポアソン比が大きくなる傾向を示した。過大な膨張量を生じた場合には、より早期に変形抵抗性が低下するものと考えられる。既往の研究では、膨張の増加に対して概ね一定とされている。

最大応力の 90% 時点においては、膨張が大きいものほど、ポアソン比が大きくなった。この時点においては、通常のコンクリートよりも軸直角方向に大きな変形が生じるものと考えられる。

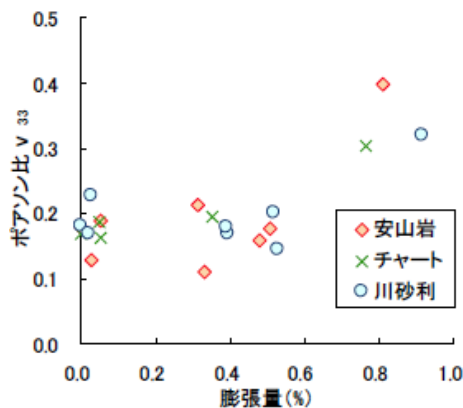


図-3 ポアソン比 (33%)

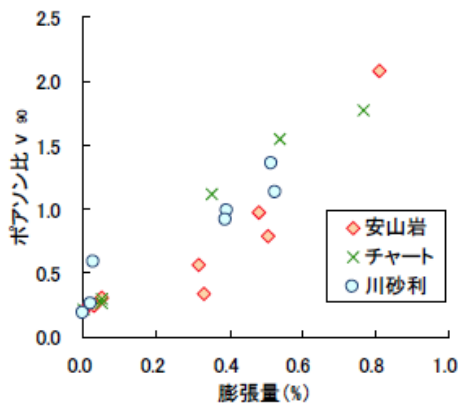


図-4 ポアソン比 (90%)

ASR 劣化による内部に生じたひび割れが

コンクリートの内部組織を弛緩させ、その影響は最大応力付近で顕著となるとともに、膨張が大きいものほど組織の弛緩も大きいものと考えられる。したがって、膨張量が大きいものほどコンクリートの変形抵抗性は小さくなるものと考えられる。なお、ばらつきが大きいいため、骨材種類の影響は明確とはならなかった。

各種骨材の膨張量が限界応力に与える影響を図-5 に示す。体積ひずみが増加から減少にかわる際の応力を限界応力として求めた。限界応力は、コンクリート中のマイクロクラックが相互に連結し、連続クラックが形成される状態とされ、コンクリートの真の圧縮強度と称されることもある。

骨材種類にかかわらず、膨張量が大きいものほど限界応力は小さくなった。ASR 膨張が大きいものほど、内部に多くの ASR によるひび割れが存在しており、膨張が大きいものほどひび割れの量も増加するため、より早期にそれらの現象が現れたものと考えられる。

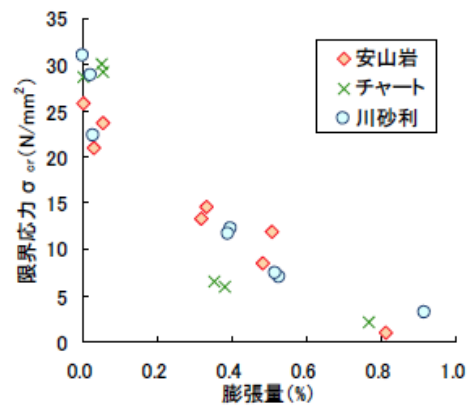


図-5 限界応力

限界応力は、コンクリートの水セメント比、細骨材および粗骨材の容積率などに影響を受ける。これらの影響について詳細な検討を行った既往の研究において提案されている限界応力/圧縮強度比の算定式を用いると、今回の配合においてはこの比は 0.87 と推定された。膨張によって圧縮強度が低下するため、これらの影響を検討することとし、限界応力/圧縮強度比を求めた。膨張量が限界応力/圧縮強度に与える影響を図-6 に示す。

膨張が大きいものほど限界応力/圧縮強度は小さくなった。膨張による圧縮強度の低下よりも大きな限界応力の低下が生じるものと考えられる。すなわち、通常のコンクリート同様に限界応力に達した時点破壊の開始と考えると、膨張量が大きいものほど低い応力レベルで破壊が開始することとなる。他方、膨張が大きいものほど限界応力から圧縮強度までの応力増分は大きくなった。本来

であれば、限界応力以降は速やかに最終的な破壊に至り、圧縮強度までの応力増分はそれほど大きくはない。この現象の詳細な解明には更なる検討が必要であるものの、限界応力においてひび割れの連結が生じているとすると、その後の荷重増分に伴う巨視的な破壊に抵抗するものとして ASR ゲルの存在が推察される。ゲルの生成、ゲルの膨張によってマトリックスおよび骨材界面にひび割れが発生するものの、これらはゲルで充填されるものもあり、充填されたひび割れ部分は力学的な抵抗を有するものと推察される。

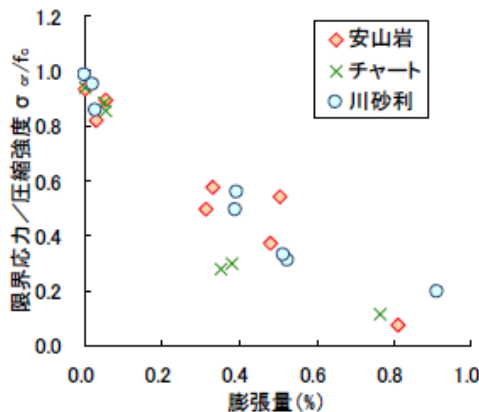


図-6 限界応力/圧縮強度

各種骨材の膨張量が最大応力時の縦および横ひずみに与える影響を図-11 に示す。

骨材種類にかかわらず、膨張量が大きいものほど最大応力時のひずみは大きくなった。ASR 膨張が大きいものほど、最大荷重時の変形は大きくなるものと考えられる。その増加傾向は、チャートのものは、他のものより若干小さい傾向を示した。チャートのものは、弾性係数の低下傾向も他のものより小さかった。骨材の反応タイプが異なることによって膨張開始時期およびひび割れの性状の影響が原因として考えられる。詳細なメカニズムについては、セメントの水和反応の進行などの影響とともに今後の更なる検討が必要である。なお、弾性係数における結果と併せて、骨材の反応タイプは変形特性に影響を与えることが明らかとなった。

これらの検討結果から、過大膨張までの ASR 劣化コンクリートの力学的性状について、既往の研究で明らかにされているものと概ね同様の結果が得られることが明らかとなった。したがって、膨張に伴う各種力学的なパラメータの変化については、過大膨張時も含めてモデル化が可能であることが明らかとなった。

また、過大膨張域においては、マクロな力学的特性には特筆すべき点はなかったものの、破壊力学的なパラメータ（限界応力）からは、低応力時における破壊現象の開始、進

展が顕著となる傾向にあった。

一方、骨材種類が膨張に伴う力学的性能の変化に与える影響については、それほど顕著でなく、いずれの骨材種類についても膨張に伴う力学的性能の変化の傾向は概ね一致した。他方、変形特性については骨材のタイプ（反応タイプ）が膨張に伴う変化に影響を与えることが明らかとなった。今回検討の対象としたのは反応性粗骨材においては、膨張に伴うマクロな力学的な挙動のモデル化は同様の手法で扱える可能性が明らかとなった。

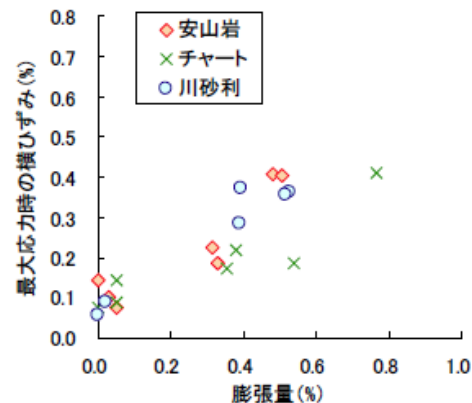
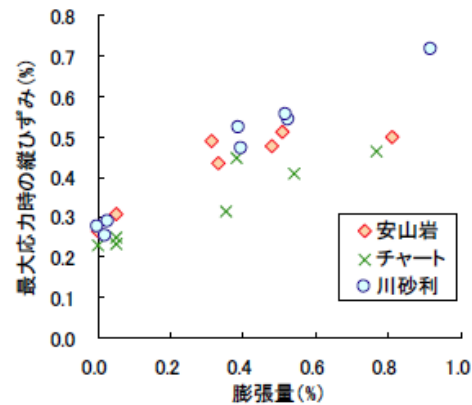


図-7 最大荷重時のひずみ

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 3 件）

①中田正文, 久保善司, 宮野暢紘: 反応性骨材種類が ASR 劣化コンクリートの圧縮強度および変形特性に与える影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2011.9, 査読無（掲載決定済）

②中田正文, 久保善司: 骨材種類が ASR 劣化コンクリートの力学的性能および変形特性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, 2011.7, 査読有（掲載決定済）

③中田正文, 久保善司: 異なる骨材を用いた ASR 劣化コンクリートの圧縮強度特性に関

する基礎的検討，土木学会中部支部研究発表
会講演概要集，pp.489-490，2011.3，査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 善司 (KUBO YOSHIMORI)
金沢大学・環境デザイン学系・准教授
研究者番号：50324108

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし