

カルシウムイオン水を用いたコンクリートの提案と その試行的強度試験

大田和彦*、 森村 毅*、 大廣麻里**

Proposal and Pilot Strength Test of High-performance Concrete with Water Containing Ca^{2+}

Kazuhiko OHTA* ,Tsuyoshi MORIMURA* and Mari OOHIRO**

Synopsis

In this paper, the high-performance concrete with water containing Ca^{2+} was proposed. This water was made from oyster shells as an industrial waste. From a result of a pilot test, that the compression strength of this concrete is about 1.4 times as much as that without calcium ions and has 58MPa was observed.

Keyword: concrete, calcium ions, industrial waste, compression strength

1. はじめに

1.1 カルシウムイオン水について

現在、我が国では産業廃棄物の環境問題が深刻化している。それゆえ、近年では産業廃棄物の再資源化を目的とした研究が多くなされているが、その中の一つに、炭酸カルシウムを主成分とした牡蠣殻を用いた高濃度のカルシウムイオン水による研究¹⁾²⁾がある。牡蠣は広島の有力な地場産業の一つであるが、牡蠣業者にとっては牡蠣殻の処分が深刻な問題になっている。

カルシウムイオン水は、この牡蠣殻を1200℃で焼成してできる粒状のカルシウムを酢酸水溶液に入れて完全に溶け込ませ、不純物を濾過することによって作成される。このカルシウムイオン水の期待される応用分野には、①健康飲料水、②コンクリートなどの壁面の洗浄、③家庭用洗剤の代替による河川汚染の抑止、④

モルタルやコンクリートへの応用などが考えられている。

1.2 コンクリートへの応用

建築構造物にはコンクリートが多く使われている。しかし、コンクリートは圧縮には強いが引張には極めて弱いという欠点を持つ材料である。このことは常時においてもコンクリート表面にひび割れが生じやすい原因の一つになっている。ましてや、大地震時の鉄筋コンクリート造建物被災の原因の一つになっている。そこで、著者らはこの欠点を解消するために2価のカルシウムイオン水をセメントと反応させることで圧縮・引張ともに強いコンクリートを製造することを考えた。

森村らの研究¹⁾²⁾によれば、カルシウムイオン水を用いたモルタルの強度試験においては、すでに高強度

* 近畿大学工学部建築学科

** 近畿大学大学院システム工学研究科

Department of Architecture, School of Engineering,
Kinki University

Graduate School of Systems Engineering,
Kinki University

・高靱性に対して効果があることが確認されている。そこで、本論文ではカルシウムイオン水を用いたコンクリートを提案するとともに、その試行的強度試験の結果を報告しその力学的性能向上の可能性を示すことを目的にしている。

2. カルシウムイオン水を用いたコンクリート

2.1 高強度・高靱性コンクリートについて

高強度コンクリートの代表的な製造には、減水剤を用いて単位水量を減らし低水セメント比のコンクリートを製造する方法とセメントに別の結合材を混和して強度増進を図る方法とがある。しかし、これらの方法では、一般的に圧縮強度は高くなるものの引張強度の増大はあまり期待できない。一方、靱性コンクリートの製造方法には繊維コンクリートを用いる方法やコンクリート表面に何らかの補強を施すことによって脆性的破壊を回避・改善する方法が代表的であるが、これらの方法はコンクリートに他の異なる材料を混和あるいは補強することでコンクリートの脆性を改善している。

2.2 カルシウムイオン水を用いたコンクリートの提案

これらの方法に対して、本研究で提案しているコンクリートは人体に無害なイオン化カルシウム水溶液をセメントと水和反応させることで生成される化合物が分子レベルで強力な結合力を生み出し、この結合力は主にコンクリートの引張強度の増大に貢献すると考えられる。しかも、引張強度の増大は、圧縮時の横歪みの増加によるコンクリート側面のひび割れ発生を抑える効果があるので、結果として圧縮強度も増大する。一方で、このコンクリートはイオン水を使用するので、混練時においてセメント粒子表面に吸着したイオンが反発しあって流動性が生まれ、ワーカビリティの改善が期待される。しかも、このコンクリートは大気中の炭酸ガスを吸収して強度発現するともいわれており、耐久性の面からも期待できる。

2.3 カルシウムイオン水を用いたコンクリートの課題

このカルシウムイオン水を用いたコンクリート製造には当面次の2つの課題があると考えられる。その一つはカルシウムイオン水の製造と価格、もう一つは製

造したコンクリートの力学的特性である。

このうち、前者は牡蠣殻の破碎と焼成及び不純物の除去が具体的な課題である。飲料水の場合、人体への影響を配慮しなければならないので、重金属などを完全に除去しなければならないと極めて高価になる。しかし、ここではコンクリートへの応用を考えているので、1200℃で牡蠣殻を焼成し沈殿濾過する必要はあるが、不純物を完全に除去する必要はなく、高価格にはならないと考えている。

現時点での最大の課題は、コンクリートの力学的特性が期待されるほど果たして向上するのかどうかにある。それを明らかにするためには数多くの実験を行わなければならないが、ここでは試行的に行ったスランブ試験と強度試験の結果を報告しその可能性を示す。

3. 試行的強度試験

3.1 カルシウムイオン水の作成

最初に 1800cc の水に 200cc の酢酸を注入し、酢酸水溶液を作る。次に 40g のカルシウム粉末を入れて良くかき混ぜる。最後にカルシウム粉末が水に十分溶け混んだ後に濾過を行い、不純物を取り除くことによってカルシウムイオン水を作成する。

3.2 試験体とその作製

試験体は、直径 100mm、高さ 200mm の円柱状試験体を 1 シリーズ 8 本作製し、そのうち 5 本を圧縮強度試験に 3 本を割裂強度試験に使用した。強度試験は 4 週間の水中養生の後に実施した。

今回の実験では水セメント比を 50%にして、カルシウム（重量）濃度を変化させている。カルシウム濃度は 0 ~ 2.3%までの 5 段階（5 シリーズ）とした。具体的な調査表を表 1 に示す。

なお、セメントには、普通ポルトランドセメントを使用している。一方、細骨材には、最大粒径 5mm、比重 2.54、吸水率 2.3%の山砂を、粗骨材には、粒径 5 ~ 10mm、比重 2.6、吸水率 1.47%の碎石（安山岩）を、細骨材率 39.4%で使用している。

3.3 試験の種類と加力・計測方法

試験は、スランブ試験、圧縮強度試験、割裂強度試験の 3 種類である。スランブ試験はコンクリート打設

表 1 調査表

水セメント比(%)	カルシウム(Ca)濃度(%)	水(kg)	Caイオン水(kg)	セメント(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)
50	0.0	230.0	0.0	460.0	633.5	972.7
	0.8	193.3	48.3	386.7		
	1.1	179.1	76.7	491.0		
	1.5	166.8	111.2	526.0		
	1.9	156.0	156.0	582.2		
	2.3	146.6	219.9	673.9		

直前に実施した。強度試験の加力装置は 5000kN 万能試験機を用いた。圧縮強度試験では、荷重の他に縦歪みと横歪みを計測している。この場合、荷重の計測は 1000kN 能力のロードセルを用いた。一方、縦歪みは試験体の高さ方向に一軸歪みゲージを3カ所貼付し、横歪みは試験体の周方向に一軸歪みゲージを2枚貼付して、それぞれ平均値を求めることによって計測している。

3.4 試験結果とその考察

3.4.1 ワーカビリティ

図1にスランブ試験の結果を示す。縦軸にスランブ値を横軸にカルシウム濃度をとっている。カルシウム濃度 1.0%以下では骨材の含水状態によって、スランブ値が大きく左右される。しかし、1.0%以上になるとスランブ値はほぼ 18cm 以上になり、安定したワーカビリティが確保される。今回のコンクリートの練り上がり状態を観察すると、水セメント比をもう少し下げることが可能であるように見受けられた。

3.4.2 圧縮強度

図2に圧縮強度試験の結果を示す。縦軸に圧縮強度を横軸にカルシウム濃度をとっている。圧縮強度は、原則として5本の圧縮強度のうち強度の高い3本の平均値で求めている。カルシウム濃度が高くなると圧縮強度は高くなり、最も圧縮強度の高かったのはカルシウム濃度 1.53%のときで、イオン化カルシウムを含まない通常のコンクリートに比べて約 1.38 倍強度が増大し、その大きさは 57.7N/mm²であった。しかし、カルシウム濃度がそれ以上になるとカルシウムを含まない通常のコンクリートよりも圧縮強度は低下した。

コンクリートの圧縮強度試験の場合、縦歪みは圧縮歪みを生じ横歪みは引張歪みを生じる。イオン化カルシウムはセメント粒子を分子間で強力に結合させるので、横歪みを高圧縮応力度まで抑えることが期待される。この横歪みの抑制が圧縮強度の増大につながると考えられるので、図3に圧縮応力度に対する横歪みの伸びを示す。図では縦軸に圧縮応力度を横軸に横歪みをとっている。図からカルシウム濃度 1.53%のときに横歪みが高圧縮応力度まで抑制されていることがわかる。カルシウム濃度 1.0%以下では、カルシウムを含まない通常のコンクリートの横歪みとあまり変わらずイオン化カルシウムの効果は十分発揮されていないことがわかる。一方、カルシウム濃度 2.0%以上では、横歪みは低圧縮応力度レベルから大きく生じている。

3.4.3 割裂強度

図4に割裂強度の結果を示す。縦軸に割裂強度を横軸にカルシウム濃度をとっている。割裂強度は、原則として3本の平均値によって求めている。イオン化カルシウムを使用したコンクリートの割裂強度は、イオ

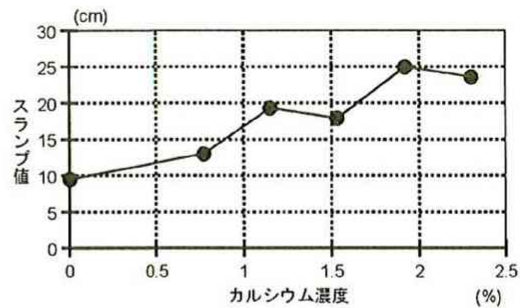


図1 スランブ値

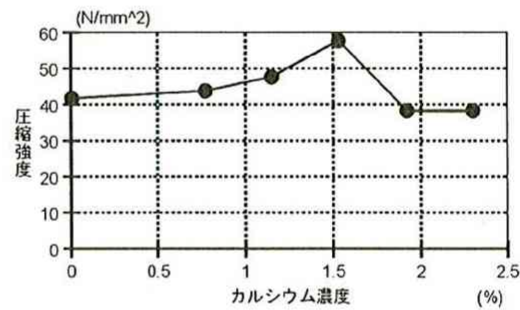


図2 圧縮強度

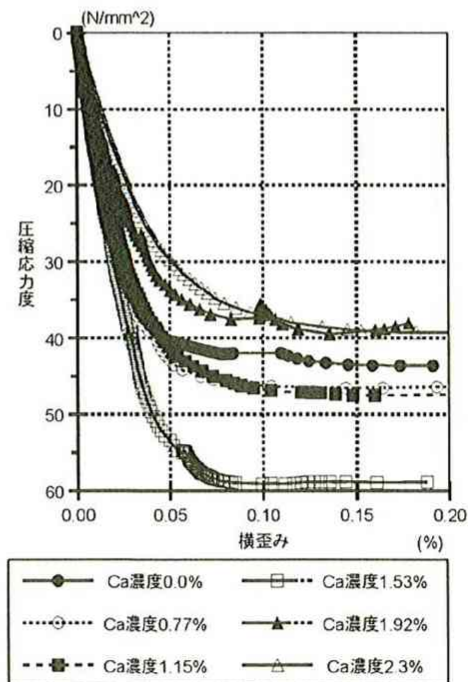


図3 横歪みの伸び

ン化カルシウムを含まない割裂強度よりも増大が確認

された。特にカルシウム濃度 0.8 ~ 1.6%のときに強度が増大し、カルシウム濃度 1.15%ではカルシウムを含まないコンクリートの割裂強度の約 1.34 倍に達し、その大きさは 4.1N/mm^2 であった。

3.4.4 ヤング係数とポアソン比

図5にヤング係数の結果を、図6にポアソン比の結果をそれぞれ示す。図5では縦軸にヤング係数を、図6では縦軸にポアソン比をとり、両図とも横軸にカルシウム濃度をとっている。ヤング係数は、各試験体の圧縮応力度-縦歪み曲線の原点における接線剛性を最小二乗法によって計算し、原則として試験体5本の平均値によって求めている。一方、各試験体のポアソン比は横歪みを縦歪みで除することによって求まるが、低応力度では値にばらつきが生じるので、値の安定する圧縮応力度 $10 \sim 20\text{N/mm}^2$ の範囲の平均値を計算した上で、原則として試験体5本の平均値をポアソン比として求めている。

図5からヤング係数はカルシウム濃度 1.6%程度までは、イオン化カルシウムを含まないコンクリートのヤング係数とほぼ同じ程度であるが、1.6%を超えると低下する傾向にある。一方で、図6からポアソン比はカルシウム濃度 1.6%程度までは、イオン化カルシウムを含まないコンクリートのヤング係数とほぼ同じ程度であるが、1.6%を超えると上昇する傾向にある。このことは、カルシウム濃度 1.6%を超えるコンクリートはまだ十分に硬化していないことを物語っており、そのために圧縮強度や割裂強度が増大しなかったものと考えられる。事実、モルタル強度試験の結果においても養生期間が長いほど強度が増大するという研究結果も報告されているので、高濃度カルシウムのコンクリートの場合も長期の養生期間を確保すれば強度が増大する可能性があるものと思われる。

4. 結語

本論文では、カルシウムイオン水を用いたコンクリートを提案した。また、その力学的特性向上の可能性について、得られた主な知見は以下の通りである。

4.1 水セメント比 50%では、強度増大に対する効果はカルシウム濃度 1.0 ~ 1.6%のときに高く、圧縮強度は 1.53%のときに 60N/mm^2 近く、割裂強度は 1.15%のときに 4.0N/mm^2 程度が得られた。また、この範囲では十分なワーカビリティも得られる。

4.2 イオン化カルシウムによる横歪みの抑制が高圧縮強度を生みだしている。

4.3 カルシウム濃度 1.6%を超える高濃度のコンクリートは養生期間 1ヶ月では十分硬化しない。

今回の試行的強度試験の結果から、イオン化カルシウムを含まないコンクリートに比べて、約 1.3 ~ 1.4

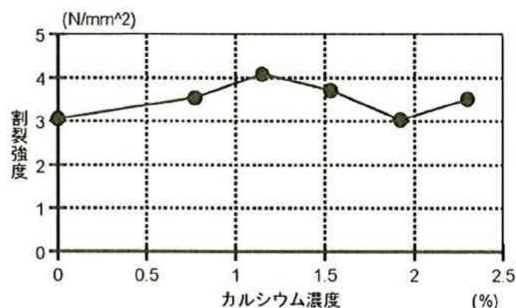


図4 割裂強度

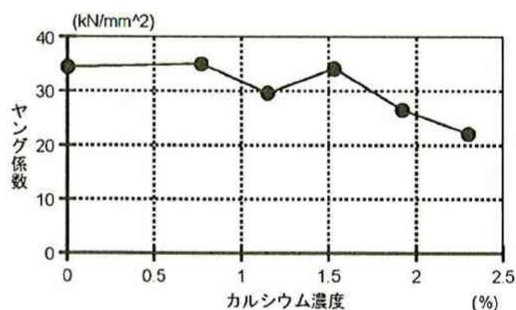


図5 ヤング係数

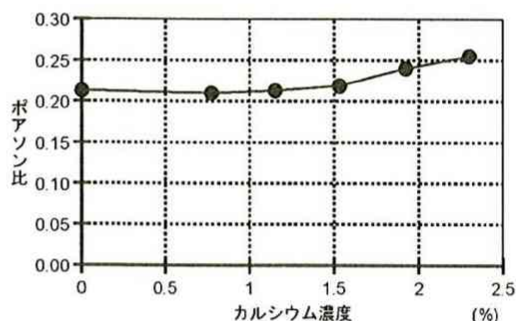


図6 ポアソン比

倍の強度増大が認められたので、その実用性は十分であると判断できる。今後は最適な調査を見だし、その力学的性能を明らかにしていく所存である。

参考文献

- 1) 森村毅、野村正人：イオン化 Ca 混入による強化モルタル及びコンクリートに関する研究、近畿大学工学部研究報告、No.38、pp.71-76、2004.12
- 2) 森村毅、野村正人：イオン化 Ca 混入によるモルタル強度発生に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、材料施工、pp.37-38、2004.8