

化学的劣化がメソスケールモルタルの寸法効果に及ぼす影響 に関する解析的検討

Analytical Investigation on Size Effect of Mesoscale Mortar affected By Chemical Erosion

北海道大学工学部 学正員 渡部孝彦 (Takahiko Watanabe)

北海道大学大学院 正員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

名古屋大学大学院 正員 三浦泰人 (Taito Miura)

1. はじめに

我が国では、1960年代の高度経済成長期に集中整備されたインフラが約60年を経過し、これらを維持管理していく必要性が高まってきている。コンクリート構造物を管理する上で、構造耐力が基準を満たしているか、コンクリートの状態を調べるために、コア採取法という方法が行われている。このコア採取法では巨大なコンクリート構造物からコアと呼ばれる小さな試料を採取し、力学的特性ならびにその他の性質を調べることで、構造物全体の構造耐力を予測するものである。しかし、コンクリート部材には寸法効果（寸法の増大に伴って見かけの強度が低下する現象）が存在し、これを考慮する必要がある。例えば、設計基準では寸法効果を経験則として認め寸法効果を考慮した形の算定式が用意されている。

しかし、過酷な環境にさらされているコンクリート構造物の中には様々な化学的影響を受けているものがあり、これらの化学的に劣化したコンクリートにおいて、健全な場合と同様の寸法効果を適応させることは適切なのだろうか、という疑問が生じる。

著者らは状態劣化をメソスケールで捉え、そのスケールでの状態を積み上げた剛体バネモデル法を用いた構造解析手法を整備しつつある。本論では、化学的劣化の中でも、硫酸溶液により劣化したモルタルにおける寸法効果と、健全なコンクリートにおける寸法効果との関係性の評価を剛体バネモデルによって試みた。

2. 解析の概要

解析には剛体バネモデルを用いた。剛体バネモデル（以下、RBSM）は川井²⁾によって提案されたモデルであり、要素自体を剛体と仮定して要素境界面状に垂直バネとせん断バネを設けて、剛体要素間の非線形挙動を評価する手法である。

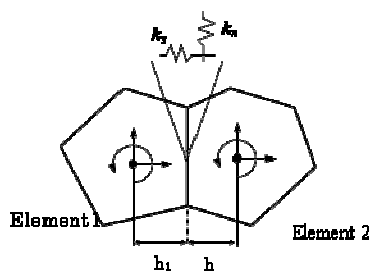


図-1 RBSMの概要図

本解析においては、長井ら²⁾によって開発された構成モデルを用いることにする。長井らは剛体バネモデル法をモルタルおよびコンクリートの破壊解析が可能な解析手法へと発展させた。

硫酸溶液によって劣化したコンクリートはコンクリート水和物であるCH, CSHが減少することが知られている。ここでは、著者らが提案した弾性係数、引張強度、破壊エネルギーを水和物の減少量から求める式(1)から(3)を導入する。これにより解析上で硫酸により化学的に劣化したモルタルの破壊性状を再現することが可能となる。

$$\frac{E}{E_0} = \exp \left[- \left\{ 0.4 \cdot \frac{\Delta CH}{CH_0} + 1.0 \cdot \frac{\Delta CSH}{CSH_0} \right\} \right] \quad (1)$$

$$\frac{f_t}{f_{t0}} = \exp \left[- \left\{ 1.0 \cdot \frac{\Delta CH}{CH_0} + 0.7 \cdot \frac{\Delta CSH}{CSH_0} \right\} \right] \quad (2)$$

$$\frac{G_f}{G_{f0}} = \exp \left[- \left\{ 0.1 \cdot \frac{\Delta CH}{CH_0} + 0.4 \cdot \frac{\Delta CSH}{CSH_0} \right\} \right] \quad (3)$$

ここで E, E_0 : 弾性係数および浸漬前の弾性係数、 f_t, f_{t0} : 引張強度および健全時の引張強度、 G_f, G_{f0} : 破壊エネルギーおよび健全時の破壊エネルギー、 ΔCH : CHの減少量、 CH_0 : 健全時のCH量、 ΔCSH : C-S-Hの減少量、 CSH_0 : 健全時C-S-H量である。

3. 解析結果と考察

解析の方法だが、正方形断面をもつはりにおいて、いくつかの寸法の異なる劣化前と劣化後のモルタルにおけるはり高さ h と曲げひび割れ強度の関係を出すことで、比較を行った。曲げひび割れ強度の導出については、加藤ら³⁾によって提案された推定式を用いた。以下にその式を示す。

$$\frac{f_f}{f_t} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5(d/l_{ch})} \quad (4)$$

ここで f_f : 曲げひび割れ強度、 d : はり高さ、 l_{ch} : 特性長さ ($=EG_f/f_t^2$) である。ただしこの式の適応範囲は $d/l_{ch} \geq 0.1$ である。今回は $d/l_{ch} < 0.1$ の範囲であるが、CH、CSH の変化にのみ着目しているため、この式を用いることとする。

解析を行った供試体寸法は $32 \times 8 \times 8\text{cm}$ 、 $16 \times 4 \times 4\text{cm}$ 、 $8 \times 2 \times 2\text{cm}$ 、 $4 \times 1 \times 1\text{cm}$ の 4 つのケースであり、それぞれの寸法に対して、CH と CSH の量を 6 ケースに変化させた、合計 24 ケースの解析を行った。なお、CH と CSH の変化は、一般的にまず CH が減少し、次に CSH が減少することより、それを踏まえたケースを用意した (表-1 参照)。一例として、 $32 \times 8 \times 8\text{cm}$ のサイズのひび割れ性状を図-2 に示す。

表-1 劣化状態の組み合わせ

$\Delta \text{CH}/\text{CH}(\%)$	$\Delta \text{CSH}/\text{CSH}(\%)$
0	0
50	0
100	25
100	50
100	0
50	25

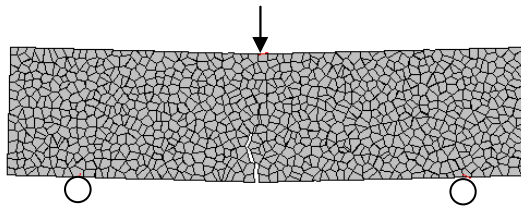


図-2 ひび割れの様子

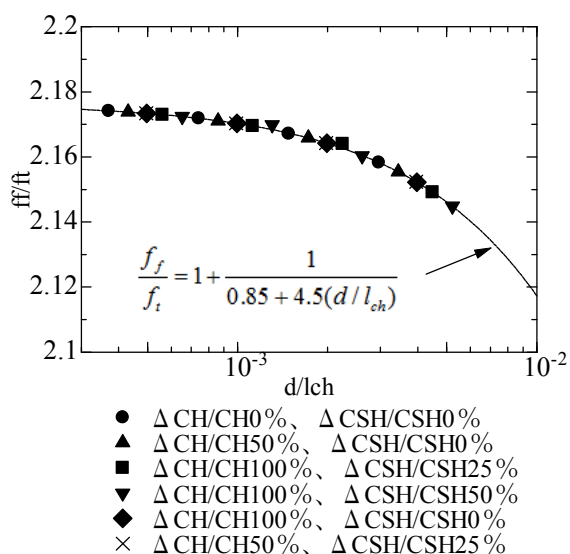


図-3 解析結果

この解析結果より、モルタルにおいて(4)の予測式を用いた場合、CH、CSH の減少によりモルタルが劣化しても、健全なコンクリートの寸法効果の予測値と一致する結果が得られた。

また、次に $16 \times 4 \times 4\text{cm}$ 供試体の曲げ強度と CH、CSH の変化量の関係を図-4 に示す。CH と CSH が減少することにより曲げ強度が低下していることがわかる。

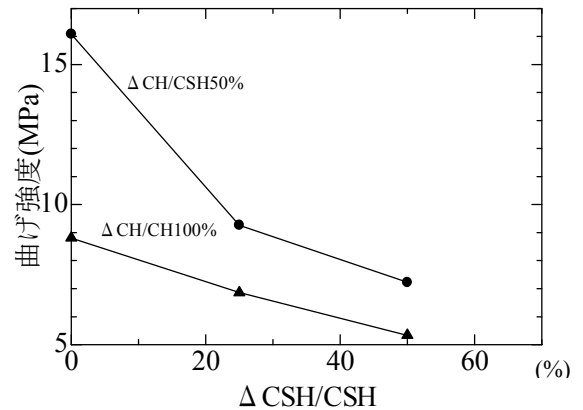


図-4 劣化による曲げ強度の変化

$\Delta \text{CSH}/\text{CSH}$ が 0%から 25%に変化するとき曲げ強度が特に大きく低下している。

以上より、モルタルが劣化することによって曲げ強度は低下するものの、その寸法効果の程度は健全なものと同様である。今後は実験結果との比較を行う予定である。

4. まとめ

化学的に劣化したメソスケールモルタルの曲げ強度の寸法効果は、健全の場合と差異がなく、また、その効果は、コンクリートに対して提案されている既往の式とよく一致する。

参考文献

- 1) 川井忠彦：離散化極限解析法概論、培風館、1991
- 2) 美浦泰人、佐藤靖彦：Ca により変化するモルタルのメソスケールの力学的性質と物理学的性質の関係性評価、コンクリート工学論文集、2014
- 3) 加藤英徳、内田裕市、六郷恵哲、小柳洽：コンクリートの曲げ強度の推定に関する破壊力学的検討、コンクリート工学年次論文集、vol.14, No.1, 1992
- 4) Kohei Nagai, Yasuhiko Sato, Ueda Tamon : Mesoscopic simulation of Failure of Mortar and Concrete by RBMS, Journal of Advanced Concrete technology, Vol.2, No.3, pp359-374, 2004