T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	マルチスケール解析を用いたRC耐震壁の環境作用による剛性変化に関する解析的検討
Title(English)	Analytical evaluation on the stiffness reduction of RC shear wall subjected to environmental action by multi scale thermo hygral analysis
著者(和文)	栗原遼大, 千々和伸浩
Authors(English)	Ryota Kurihara, Nobuhiro Chijiwa
出典(和文)	第66回理論応用力学講演会
Citation(English)	
発行日/Pub. date	2022, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

マルチスケール解析を用いた RC 耐震壁の環境作用による剛性変化に関する解析的検討

Analytical evaluation on the stiffness reduction of RC shear wall subjected to environmental action by multi scale thermo hygral analysis

栗原　遼大（東工大・環）　　千々和　伸浩（東工大・環）
Ryota KURIHARA, Tokyo Institute of Technology
Nobuhiro CHIJIWA, Tokyo Institute of Technology
FAX: 03-5734-3577, E-mail: kurihara.r.aa@m.titech.ac.jp

This study aimed numerical investigation on the stiffness reduction of reinforced concrete structures due to moisture loss of concrete. Authors applied the multi scale thermo-hygral analysis on the shear wall with columns for investigating long term structural performance change subjected to environmental action. Analysis results could reproduce structural response against shear cyclic loading. Scale effect was focused considering existing structures, and it was showed that the speed of stiffness reduction was lower when a RC member was thick.

１．はじめに

近年，鉄筋コンクリート(RC)構造物において，経年に伴う固有振動数低下が報告されており，原因特定と適切な対策が求められる [1]．既往の研究において，原子炉建屋や 6 層 RC 建築の実物大模擬モデルに対し,長期にわたる材料特性と構造応答を追跡することのできる三次元構造-材料応答連成解析システム(DuCOM -COM3)を用いて [2) 3)]，時間依存シミュレーションを行った [4]．経年に伴い，コンクリートの乾燥によりコンクリートに収縮ひび割れが発生し，構造体の初期剛性が低下，これにより実測されている固有振動数の経年変化をよく再現できた．また，この環境作用による剛性低下は，地震等による損傷に起因するものより大きいことも示された．構造体内における部材同士の拘束による収縮ひび割れの集中や、部材の収縮が他部材に与える変形の影響についても着目されたが，部材単体の構造性能に乾燥が与える影響の検討例は少ない．本研究は，乾燥に伴う RC 構造部材の構造性能変化を評価することを目的とし，部材として表面積が大きく乾燥の影響を受けやすいと考えられるせん断壁を対象とする．

２．乾燥の影響を受けたせん断壁部材の構造性能変化

２．１　解析対象

笹野らが行ったせん断壁に対する正負交番載荷試験を解析対象とした [5]．湿潤養生された供試体，湿潤後に気中暴露した供試体にそれぞれせん断正負交番載荷を行ったものである．Fig. 1 にせん断壁供試体の寸法，配筋を示す．壁厚は 80mm，両端に一辺 200mm の正方形断面の柱をもつ．壁の鉄筋比は一様に 0.35%，柱の主鉄筋比が 2.85%，帯鉄筋比が 0.32%である．載荷重フレームへの接合のため，上下にスタブコンクリートを備える．せん断壁供試体は水セメント比 56.3%, 単水量 183g/cm^3 のコンクリートを用いて同時に 2 体打設され，それぞれ異なる環境条件に暴露されたのちに正負交番せん断載荷が行われた. 供試体 Sealed は 7 日間の封緘養生ののち，水和反応促進のため，80 日間の湿潤養生が施された. 供試体 Dried は Sealed と同様の封緘，湿潤養生ののち，375 日間，気中暴露により乾燥させている．なお，Sealed に試験準備のため，湿潤養生後載荷試験までに 7 日間気中に暴露されている．供試体は鉄製の載荷フレームに固定され，上側フレームに設置されたパンタグラフにより供試体の上面，底面は平行に保つ力が加わり，壁面は純せん断に近い載荷条件となる．交番載荷前には 360kN の軸力が加力され，軸圧縮応力がコンクリートの目標圧縮強度 30MPa の 15%となるよう設定された. 交番せん断載荷の 1 サイクル目はせん断すべり角 1/3200 とし，以降倍角した値を変位入力された．

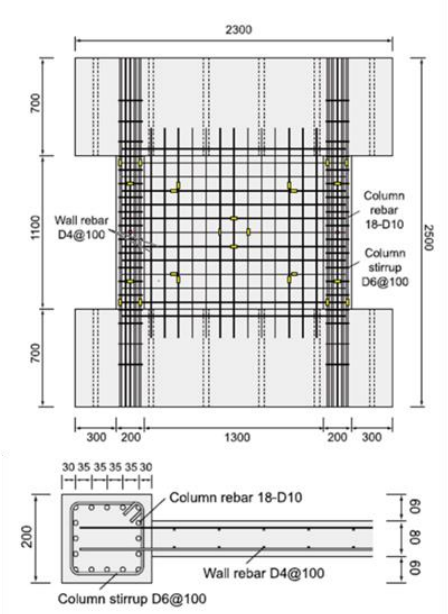

Fig. 1 Geometry and rebar arrangement of the wall specimen[5)]

２．２　解析手法の概要

２．１で示したせん断壁に対する載荷試験を再現し，機構分析を行うため，DuCOM -COM3 を用いた [2) 3)]．熱力学解析システム DuCOM と非線形構造応答解析システム COM3 を統合することで,ナノスケールの化学的現象から，メートルスケールの構造レベルの現象が連成されたマルチスケール解析システムである．コンクリートの配合，構造緒元，拘束といった境界条件および温湿度などの熱力学的条件を入力することで，セメントの水和反応による強度発現や内部含水状態などが算出され，それらをもとに巨視的変形挙動が得られる．変形によって発生したひび割れや損傷の情報は熱力学計算に渡され，相互に情報を共有する．

２．３　解析モデルおよび解析条件

２．１に示した交番載荷試験の再現のため，有限要素モデルを作成した．供試体と同様に，壁，柱，スタブコンクリートを組み合わせ，載荷フレームを模擬して弾性要素を上下スタブに接合した．載荷時は供試体上側の弾性要素部に交番変位を入力した．また，実験で行われた純せん断条件を達成するため，1 次元要素をもちいてパンタグラフを再現した．対称性を考慮し厚み方向のハーフカットモデルとした．六面体要素を用い，乾燥による壁面からの水分損失を正確に追跡するため，要素寸法は壁部厚み方向に 1cm

とした．他の方向及び柱部は 2cm から 4cm の寸法とし，収縮拘束によるひび割れ発生を再現するため，載荷時の損傷や収縮ひび割れが集中すると考えられる壁と柱，壁とスタブの接合部付近の要素を細密に設定した．

２．３　再現解析結果

Fig. 2 に Dried，Sealed それぞれについて実験と再現解析の荷重－変位曲線の比較を示し，実線が解析値，破線が実験で得られた包絡線である．荷重－変位曲線及び，実験において Dried のみに発生していた収縮ひび割れも解析により再現できた．Table 1 に Sealed, Dried それぞれの最大耐力及び各載荷サイクルにおける剛性の比較を示す．ここに，初期載荷サイクルでは最小二乗法を用いた傾きを，以降の載荷サイクルではピーク値と原点の傾きの正負 2 方向の平均値を剛性としている．全ての値で解析が実験値を精度よく再現できており，既往の実験及びその再現解析により，コンクリートの乾燥に起因するひび割れが，初期剛性及びせん断ひび割れ発生荷重を低下させる一方，せん断壁にかかる荷重レベルが上昇するにつれて乾燥の影響は小さくなり，最大耐力にはほぼ影響がない結果が得られた．

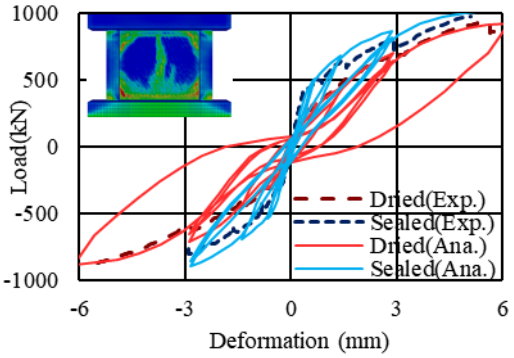

Fig. 2 Results of the reproduction analysis

Table 1 Comparison by maximum load and stiffness

		Maximum load	Stiffness			
			1/3200	1/800	1/400	1/200
Sealed	Ana.	1023	1109	492	300	168
	Exp.	979	1226	459	289	196
Dried	Ana.	965	592	317	233	146
	Exp.	941	663	333	236	167

３．長期材齢及び部材厚に関する検討

2 章では実大 RC 建築部材のおよそ 1/3 スケールで材齢 1 年までの検討を行った．本章では実構造物での挙動を捉えるため，長期材齢及び実大スケールの部材寸法での検討を行った．2 章において作成した解析モデル(Small)を 3 倍(Real), 10 倍(Large), 20 倍(Huge)に等倍したモデルを作成した．それぞれ，240mm，800mm，1600mm の壁厚を有し，RC 建築，橋梁などの土木構造物，原子炉建屋等の巨大構造物におけるせん断壁部材の実大スケールを想定する．各モデルの材料特性は同一とし，メッシュサイズはそれぞれの倍率で拡大しているため，総メッシュ数は各モデル同一である．再現解析で入力した材齢 462 日までの実環境条件の後，材料解析の収束をより安定させるため，一定温湿度(気温 20 度，相対湿度 60%)の気中に暴露し続け，材齢を最大 100 年まで進行させた．交番載荷を材齢 94 日，462 日に加えて材齢 10 年，30 年，50 年，100 年で入力した．

Fig. 3 に経年に伴う最大耐力および初期剛性の変化を示す．材齢 94 日での乾燥の影響を受けないケースの値を基準に，それぞれの材齢での値の割合を示している．どのスケールのモデルにおいても，最大耐力はコンクリートの強度増進により 15%程度上昇した．耐力上昇の速度は概ね部材寸法と正の相関があり，部材が厚い場合に，深部のコンクリートは乾燥の影響を受けずに水和反応が進行できたためと考えられる．一方，部材寸法が大きくなるにつれ，初期剛性の低下速度が落ちた．Small では材齢 1 年でおよそ剛性低下が収束したが，Real では 10 年，Large では 30 年を要し，Huge では材齢 100 年において剛性低下が収束に向かう傾向を示した．ここで，Huge を除く 3 ケースでは剛性低下の収束後，およそ剛性率が 60%程度でほぼ同値をとり，Huge では 75%となった．Huge では材齢 100 年においても乾燥が部材に到達しておらず，以降も剛性低下の可能性を残すものの，一般的な共用年数の範囲では剛性低下の程度は他の部材寸法のケースに比べ小さい結果を得た．

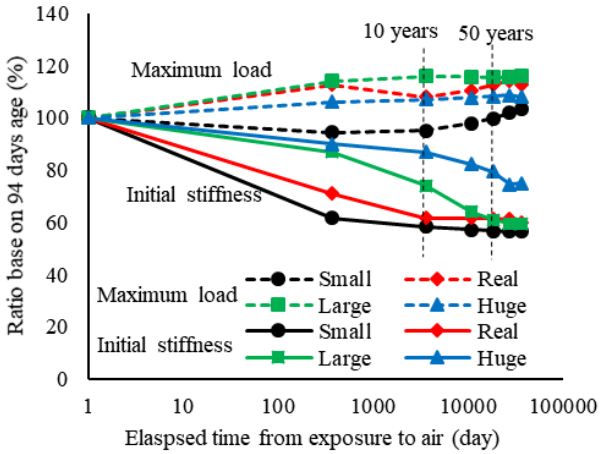

Fig. 3 Scale effect in long term behavior

４．まとめ

本研究による結論を下記に取りまとめる．

1) 構造-材料応答連成解析によりコンクリートの乾燥が RC せん断壁部材の構造性能に与える影響を評価できた．

2) コンクリートの乾燥に起因するひび割れがせん断壁の初期剛性や外力によるひび割れの発生荷重を低下させるものの，最大耐力に対しては負の影響を与えない．

3) コンクリートの乾燥による構造性能変化は部材寸法の影響を強く受け，寸法と剛性低下速度には負の相関がある．特に、原子炉建屋で用いられるような厚い部材の場合には，構造物の共用年数を通じて剛性は厚みが 1m を下回る部材よりも高い値を保つ．

参考文献

1) I. Maruyama, Multi-scale review for possible mechanisms of natural frequency change of reinforced concrete structures under an ordinary drying condition, Journal of Advanced Concrete Technology, vol.14, 691-705., 2016
2) K. Maekawa, T. Ishida, T. Kishi, Multi-scale modeling of structural concrete, CRC Press, 2008
3) K, Maekawa, H. Okamura, A. Pimanmas, Non-linear mechanics of reinforced concrete. CRC Press, 2003
4) R. Kurihara, N. Chijiwa, K. Maekawa, Thermo-Hygral Analysis on Long-Term Natural Frequency of RC Buildings with Different Dimensions, Journal of Advanced Concrete Technology, vol.15, 381-396., 2017
5) H. Sasano, I. Maruyama, A. Nakamura, Y. Yamamoto, M. Teshigawara, Impact of Drying on Structural Performance of Reinforced Concrete Shear Walls, Journal of Advanced Concrete Technology, vol.16, pp. 210-232, 2018