長時間の平衡保持計測により時間依存性成分を排除した完全平衡吸脱着等温線の取得によるセメント硬化体の空隙構造分析

東京大学生産技術研究所

説明者：田中智之　　東京大学大学院 工学系研究科 修士課程

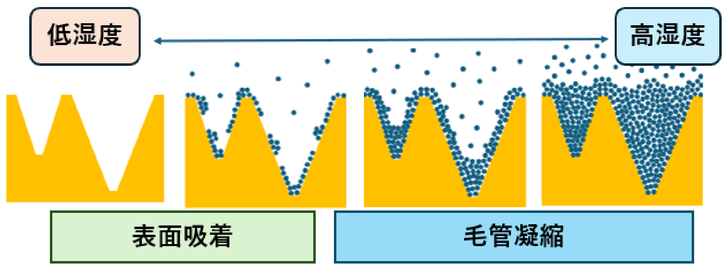
概要

・コンクリート中の物質移動および吸着挙動の長期予測のため,物質の移動経路および貯留空間となるセメント硬化体の空隙構造の正確な理解が必要.

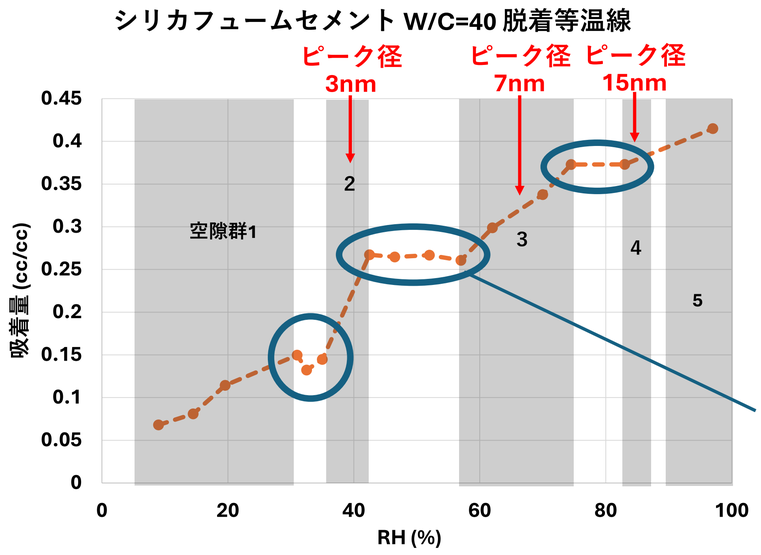
└一般的な圧力変化に基づく平衡判定条件ではなく，より感度の高い重量変化に基づく厳しい平衡判定条件を採用することにより，長い時間を掛けて平衡に至る時間依存性成分を完全に排除した吸脱着等温線を取得し，セメント硬化体の30nm以下の微細空隙構造分析の解像度を格段に高めることに成功した.

実験手法　顆粒状試料の水蒸気吸脱着等温線の取得

多孔体の空隙分布を知るために用いられる一般的な手法であり，湿度が上がるごとに細孔内部への吸着量が増加していくことを利用して細孔容積を測定.



実験結果

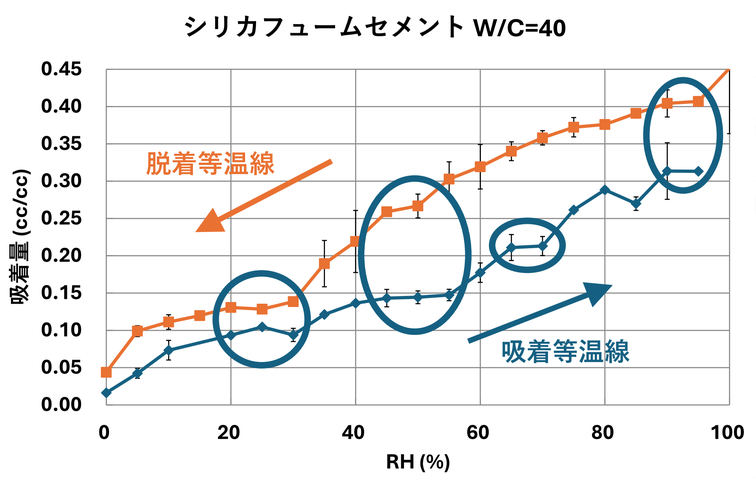


・感度の高い重量変化に基づく平衡判定が可能な全自動吸脱着測定装置を作製して測定.

・同一試料である別々のサンプルに対して1週間の脱着測定を行い，吸着量が変化しない相対湿度(RH)領域の存在を発見.

⇒ 水平なRH領域に対応する空隙は存在しない.

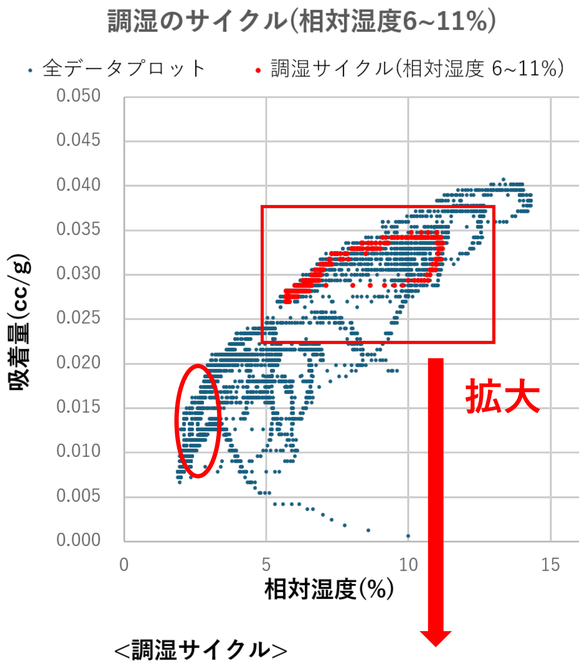
⇒空隙群が水平なRH領域で区分できる.

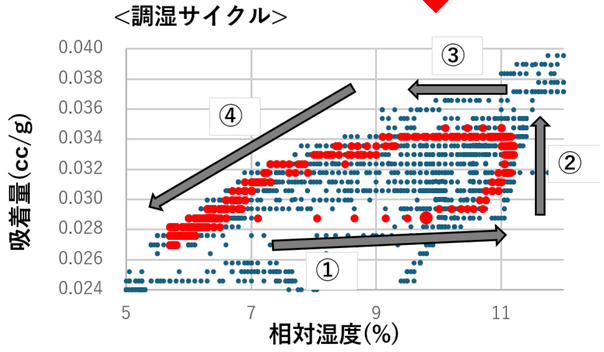


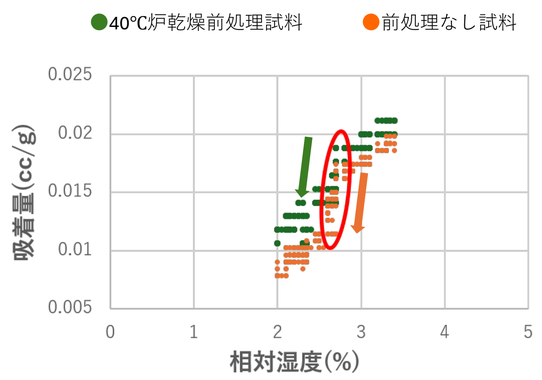
・上記の実験結果を検証するため，密閉容器内で6週間以上暴露し，重量変化で平衡判定を行った吸脱着等温線を取得.

・試料材令の進行もあり，上記の結果と若干異なるが，吸着等温線でも水平なRH領域を確認した.

・RH90－95%付近でも水平なRH領域を確認.







・調湿剤として大量の固体のP_2O_5を使用して，連続平衡遷移といえる緩やかな脱着等温線の推移を取得する手法を考案した.

・全自動吸脱着測定装置を用い，乾燥させた0.425~1.18 mmの顆粒状試料（中庸熱フライアッシュセメント, W/B = 55%）に対し段階的に微量の水分を供給したところ，各Stepで，①急速な湿度増加⇒②湿度変化の少ない重量増加⇒③緩やかな湿度減少⇒④極めて低速の湿度減少＆重量減少が測定された.

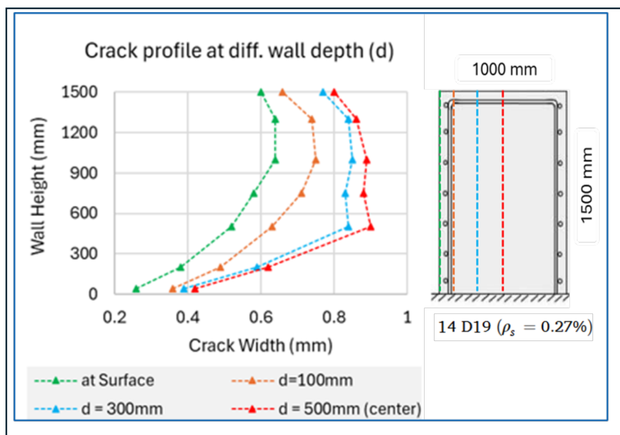
・「④極めて低速の湿度減少＆重量減少」は，吸湿によりゲル化した塊の表面を通してP_2O_5が極めてゆっくりと吸湿するため，環境の湿度減少に 試料からの脱着が完全に追従して平衡関係を維持したまま『連続平衡遷移』といえる緩やかな推移が脱着等温線の包絡線として取得されたものと考えられる.

・上記の測定において，相対湿度2～3%程度の極低湿度域での脱着挙動を詳細に確認したところ，相対湿度が約2.7%付近で垂直に落ち込む脱着挙動を確認した.

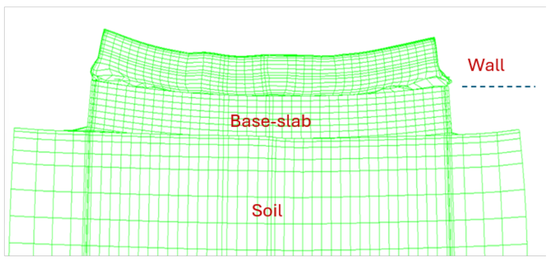
・この湿度域に対応する空隙サイズは0.5～0.6nm程度と推定されることから，この部分の脱着は，C-S-Hの層間空隙の2層目の最終的な離脱に対応するものと推察した.

ひび割れが発生した場合のひび割れ内部形状、ひび割れ防止に関する研究

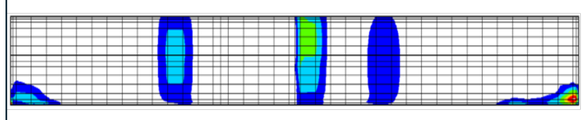
横浜国立大学



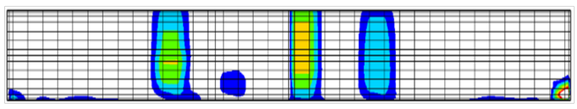
壁長さ15m、壁厚さ1mに対して温度応力解析



ひび割れ発生後の変形図（300倍で表示）



表面のひび割れ等価ひずみ

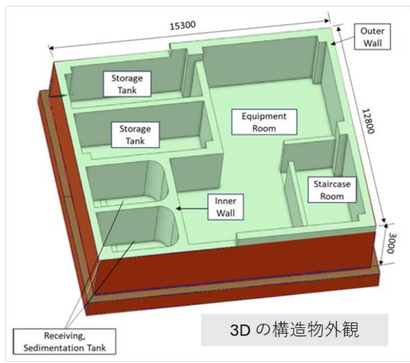


壁中央のひび割れ等価ひずみ

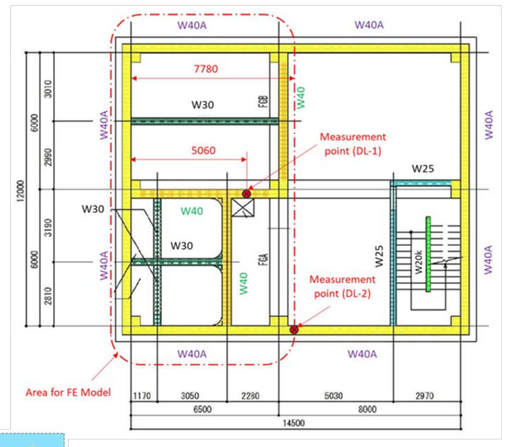
内部にひび割れ制御鉄筋が無いため、内部のひび割れ幅が大きい
→　透水性能に影響

ひび割れ抑制対策を提案し、実施工された、水密性が求められる容器構造物

➢ 構造物の諸元



3D の構造物外観



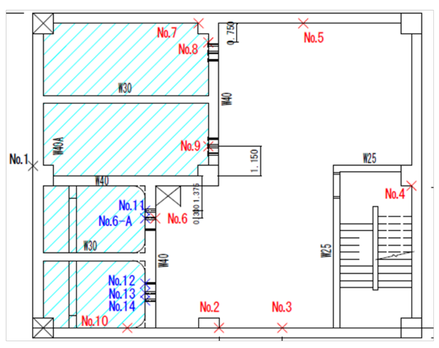
図中の黄色い壁が
ひび割れ抑制対策を講じた壁部材



実構造物でのひび割れの発生状況とひび割れ抑制対策の効果



最大のひび割れ幅が確認された
場所 No.5（ひび割れ幅：0.15mm）

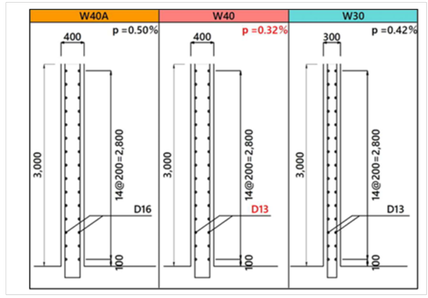


ひび割れ調査により確認されたひび割れ発生箇所

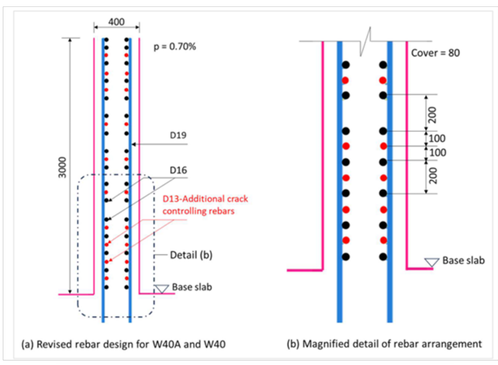
暑中コンクリートとして施工されたが、最大のひび割れ幅が0.15mmであり、漏水試験による漏水も発生せず、ひび割れ抑制対策を講じた壁部材については補修は不要であった。
比較的小型の容器構造物であったが、ひび割れ抑制対策の効果が良好に発揮された。

数値解析の結果に基づいて、コンクリートの配合修正と追加鉄筋を提案

➢ 鉄筋配置とコンクリートの配合



当初設計での壁の配筋図



数値解析結果に基づいて提案し、実施された配筋図

Mix Design	Cement Type	W/C (%)	Air (%)	Unit weight (kg/m³)					
				W	C	S	G	Ad	EA
Original	BB	54	4.5	168	311	910	933	3.11	-
Revised	OPC	54	4.5	168	286	910	933	3.11	25

ひび割れリスクの高い40cmの壁厚に対して、
追加鉄筋を配置（鉄筋比0.70%）

W: 水, C: 普通ポルトランドセメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, Ad: AE減水剤
EA: 膨張材, BB: 高炉セメントB種

セメントを普通ポルトランドセメントに変更し、
膨張材を使用

※本研究は，原子力規制庁の令和6～8年度原子力規制研究技術基盤構築事業費補助金（原子力規制研究の強化に向けた技術基盤構築事業）の補助を受けたものである.