

熱力学境界条件の操作によるコンクリート構造の時間依存変形制御

東京大学 学生会員 ○山本 聖輝

東京大学 正会員 石田 哲也

1. はじめに

従来、橋梁のたわみや変形を制御・回復させる場合には、ワイヤーやジャッキアップなどを用いて、外部から機械力を強制的に与えることが一般的である。しかしながら、そのような外科的対処はコンクリートに予期せぬ損傷をもたらす原因になりうる。そこで本研究では、材料自身が有する性質である体積変化をうまく利用しながら、外部の温度や湿度といった熱力学境界条件を操作することで、たわみ制御を行うことを試みる。コンクリートがその内部に微細な空隙構造を持つがゆえに、莫大な表面積を持つことに着目したものである。外的な力学作用を強制的に与えるのではなく、材料が力の釣り合いをとりながら、内からたわみの回復をはかる制御法の開発を目指す。

2. 単純梁におけるたわみの回復

2.1 実験概要

以下のような T 型断面の単純梁を作成し、7 日間封緘養生を行った。その後、20℃、RH60%一定条件のもと、図示されるような 2 点荷重を行うことでクリープを進行させ、そのたわみが顕著になり始めた時期(後述)に圧縮縁(上面)に湿潤条件を与えた。具体的には濡れた布を上面にしきつめることで湿潤させた。

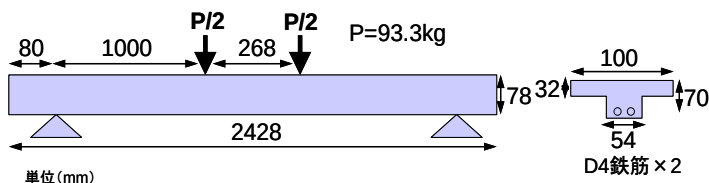


図1 T型断面供試体構造緒元

実験条件の意図は、圧縮クリープによりたわみが進行する単純梁の上縁に水を張ることで膨大な表面エネルギーを開放し、たわみ回復を狙うことにある。たわみの測定箇所はスパン中央下である。コンクリートの設計圧縮強度は30MPaで、水セメント比は55.9%とした。

2.2 実験結果と解析結果

図2に実験結果と解析結果を示す。解析は、東京大学コンクリート研究室で開発された熱力学連成解析プロ

グラム「DuCOM」と、同研究室で開発された構造解析システム「COM3」を相互連成させたものであり、収縮・クリープ現象を微視的機構に遡って構築されたマルチスケール型構成則を使用した[1]。また解析条件は実験条件と同一のものを与えた。

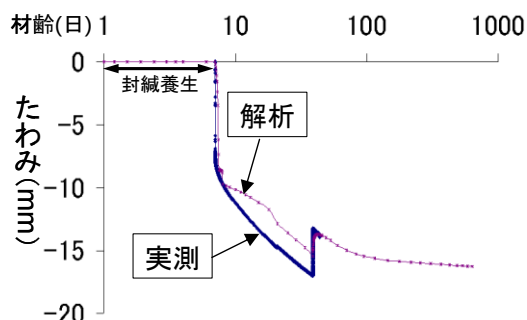


図2 実験結果と解析結果

まず、実験結果についてであるが、材齢39日の時点で上面に水を張ることでたわみの回復が見られ、当初立てた仮説が検証された。続いて、解析によって実験結果を追跡したところ、初期のクリープ挙動や水を張った際の回復量においては多少の相違があるものの、本実験で観察された挙動が概ね追跡可能であることが確認された。梁上面の圧縮縁が湿潤環境となることで材料は膨潤に転じる一方、下面の引張縁は乾燥環境が維持されているため収縮が進行する。すなわち熱力学境界条件を操作することによって、断面内部における材料の体積変化に相違が生じ、外荷重による曲げモーメントが減少したため、たわみの回復が見られたのである。

3. 構造部材の時間依存挙動に影響を与える因子

前章の結果から、荷重中においても梁の圧縮縁を湿潤させた場合にたわみが回復することが確認された。次に、構造部材の時間依存挙動に影響を与える因子を詳細に分析することとした。

3.1 圧縮縁の湿潤開始時期

たわみの回復に影響を及ぼす要因として、圧縮縁の湿潤開始時期が考えられる。実際の橋梁においても、供用年数によってたわみやクリープの進行は異なっており、工学

な制御法を検討する上で湿潤開始時期について検討することは重要である。

3. 1. 1 実験概要

以下のような矩形断面の単純梁を2体作成し、2.1と同様にクリープを進行させ、圧縮縁を湿潤環境にする時期を2週間ずらすことでその挙動の違いを確認する。コンクリートの設計圧縮強度は 24.9MPa で、水セメント比は 60.9%とした。

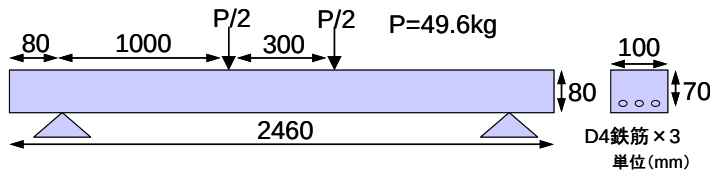


図3 矩形断面供試体構造緒元

3. 1. 2 実験結果

図4に本実験結果を示す。材齢83日、97日の時点で、湿潤条件を梁圧縮縁に適用した場合、前者においては4.24mmの回復、後者の場合3.16mmの回復が見られた。湿潤条件を与える時期が遅い方が、回復量が減少するという興味深い事実が観察された。なお、実験上の制約のため材齢52日の時点で一旦除荷し、温度および相対湿度がある程度変動し得る室内に静置した。従ってたわみ量に微小変動等が観察されたが、議論の内容を大きく変える要因にはならないと考える。

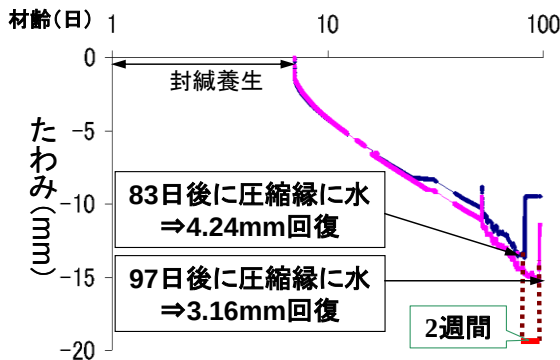


図4 圧縮縁の湿潤開始時期による違い

3. 1. 3 感度解析による実験結果の解釈

3. 1. 2で得られた実験結果の原因を探るために、梁の圧縮縁の湿潤開始時期をパラメータとした感度解析を2.2と同様の条件で行った。ここで感度解析においては、圧縮縁の湿潤開始時期がたわみに与える影響のみを抽出するため、仮想的に材料の引張強度を大きくしたひび割れを許容しない解析を行った。ひび割れ発生による非線形性がたわみに与える影響を解析上排除するためである。解析においては、圧縮縁の湿潤開始時期を材齢1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、1年、1年3ヶ月の時点とし、各々の挙動を比較した。そ

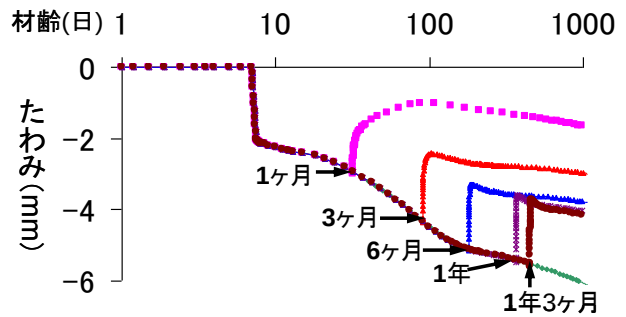


図5 圧縮縁の湿潤時期による感度

の結果を図5に示す。

図5からわかるように、圧縮縁湿潤開始時期が早い方が、材料の膨潤に起因するたわみの回復がより有効に期待される、という実験結果と同様の結果が得られた。これは解析プログラムに搭載されているレオロジーモデル（クリープモデル）から、初期は毛細管空隙に起因する弾粘性変形が卓越するものの、時間の経過に従って、ゲル水の浸出ならびに層間水の離脱による塑性変形成分が卓越するために、非回復部位が増大するからだと説明することができる。すなわち、梁のたわみ進行は圧縮縁のクリープ挙動に支配されるが、クリープの進行が十分に進みゲル水や層間水に起因する非回復変形が生じてしまうと、湿潤環境を与えた際の膨潤回復が限定されるためである。今回の実験条件は限定されたものではあるが、微視的な空間で展開される材料の熱力学状態とそれに由来する材料力学非線形性、さらにたわみ回復の部材挙動は相互に強く連関しており、巨視的な寸法で観察される現象が、コンクリート内部のミクロな現象と直結していることが示唆された。

4. 結論

- (1) 梁の圧縮縁を湿潤環境にすることでたわみが回復する。
- (2) 圧縮縁の湿潤開始時期が遅いほど回復量は減少する。

謝辞:本研究を実施するにあたり、国土交通省建設技術開発助成制度の支援を頂きました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- [1] 前川 宏一・石田 哲也・岸 利治: MULTI-SCALE MODELING OF STRUCTURAL CONCRETE(Taylor & Francis,2008)
- [2] 浅本 晋吾・石田 哲也・前川 宏一: 骨材特性との連関を考慮した複合モデルによるコンクリートの収縮解析(土木学会論文集 E, Vol. 63, No. 2, pp.327-340, 2007.6)