

論文

[1039] 若材令コンクリートの圧縮ならびに引張りラクセーション特性について

正会員○奥田 隆之 (岐阜大学大学院)
 頼織 由雄 (岐阜大学工学部)
 正会員 森本 博昭 (岐阜大学工業短期大学部)
 正会員 小柳 治 (岐阜大学工学部)

1, はじめに

マスコンクリートで問題となるセメントの水和熱に起因する温度応力を算定する際、コンクリートが全般的に若材令であるためコンクリートのクリープ及びリラクセーションの影響を考慮することが特に必要となる。コンクリートのリラクセーション特性は、温度応力のリラクセーション解析において重要となる力学的特性にあるにもかかわらず、これに関する実験的研究は少なく特に若材令におけるリラクセーション特性に関しては過去に数例を数えるのみである¹⁾。著書らはこれまで若材令コンクリートの圧縮及び引張りラクセーション特性についてその一部を既に報告している²⁾。本研究では、これまでに得られたコンクリートのリラクセーション特性に関する研究成果に加えて、新たに圧縮ならびに引張りラクセーション特性に及ぼす、配合、載荷ひずみ(応力)の影響を実験的に明らかにし、若材令コンクリートのリラクセーション特性について総合的な考察を加えた。

2, 既往の研究成果²⁾

著者らは、リラクセーション特性に及ぼす載荷ひずみ(応力)レベル、載荷時材令の影響およびリラクセーション特性の評価法などについてすでに明らかにしている。

本研究は、著者らのコンクリートのリラクセーション特性に関する一連の研究の一環をなすもので、これまで得られた研究成果を踏まえた形で本研究が計画、実施された。従って、本研究の目的及び実験結果などを理解する上でこれまでの研究成果を確認することは重要である。以下にこれまでに得られた研究成果の概要を示す。

2-1 既往の研究における実験の概要

圧縮ならびに引張りラクセーション試験の実験装置ならびに供試体の配合と作製方法などは、後述の本研究におけるものと同様である。載荷材令は、1日、3日、7日、14日および21日の5材令としている。載荷応力レベルは、各材令とも圧縮あるいは引張強度の30%、50%、および80%の3レベルとしている。

2-2 載荷材令の影響

圧縮ならびに引張りラクセーション特性ともに載荷材令が大きくなると、終局緩和量が減少し、緩和現象の終結が早くなる傾向にある。しかし、引張りラクセーション特性に与える載荷材令の影響は、圧縮リラクセーション特性におけるそれより小さい。

2-3 荷重ひずみ（応力）レベルの影響

各荷重材令において、荷重応力レベルが30～80%程度の範囲においては、圧縮および引張りリラクゼーション特性ともに終局緩和量が初期荷重応力にほぼ比例する。

2-4 圧縮ならびに引張りリラクゼーション関数

任意材令の圧縮及び引張りリラクゼーション特性は次式により評価できる。

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_i} = \frac{A + Ct}{A + t} \quad \begin{array}{l} \sigma_t ; \text{時間 } t \text{ における残留応力} \\ \sigma_i ; \text{初期導入応力} \quad A, C ; \text{実験定数} \end{array}$$

上式で、 $t = \infty$ としたときの緩和量を終局緩和量、逆に残留する応力を終局残留応力とし、さらに終局緩和量の1/2に達する時間を1/2緩和時間と定義すれば、Aは1/2緩和時間を、Cは終局残留応力を表すことになる。式中の実験定数 A および C は、荷重材令 t の関数として評価できる。

2-5 圧縮特性と引張特性の相違

引張りリラクゼーション特性は圧縮リラクゼーション特性に比べてきわめて短期終結性で、かつ終局緩和量も少ない。このことから、圧縮下の特性と引張下の特性は、リラクゼーション発生機構上相違があることも考えられる。

3. 本研究における実験計画

3-1 実験目的

前述のように、著者らはコンクリートの圧縮ならびに引張りリラクゼーション特性とその評価法についていくつかの成果を得ているがコンクリートの配合は1種類のみであった。従って、本研究では従来の研究とは異なる配合について実験を実施し、圧縮および引張りリラクゼーション特性におよぼす配合の影響を明らかにする。さらに、圧縮下の特性と引張下の特性の相違についても前述の知見は、導入応力と強度との比（荷重応力レベル）がそれぞれ30～80%の場合に得られたものであった。しかし、圧縮と引張における荷重応力レベルが同一であっても、導入応力の大きさでみれば10倍程度の差があり、供試体内部の応力の大きさには両者間にかなりの開きがある。従って、本研究では導入応力の絶対値を等しくした場合、やはり圧縮下の特性と引張下の特性のあいだに根本的な相違が見られるか否かを明らかにする。

3-2 試験機システム

(1) 圧縮リラクゼーション試験

圧縮リラクゼーション試験は、ひずみ制御機能を持つ電子式自動荷重制御装置付万能試験機を主体とするものである。ここで、供試体のひずみは荷重板間変位として変位計より検出され、変位計からのひずみ信号はX-Yレコーダーを介して増幅された後、制御回路に送られる。制御回路では、入力されたひずみ量と試験条件として設定したひずみ量との差をもとに自動制御弁を作動させて荷重シリンダに送る油量を調節し、荷重板間変位を一定に保つような機構となっている。応力緩和量の検出、記録は、検力計のポテンシオメータ出力をX-Yレコーダーに記録すること

により行った。

(2) 引張りリラクゼーション試験

引張りリラクゼーション試験は、図-1に示すような高剛性載荷フレームにより実施した。供試体への引張りひずみの導入は、供試体の両端に埋設した定着板を介した特製ボルトを用いて行った。応力緩和量の検出は、特製ボルトに電気抵抗線ひずみ計を貼付しその出力をX-Yレコーダーに記録させることにより行った。

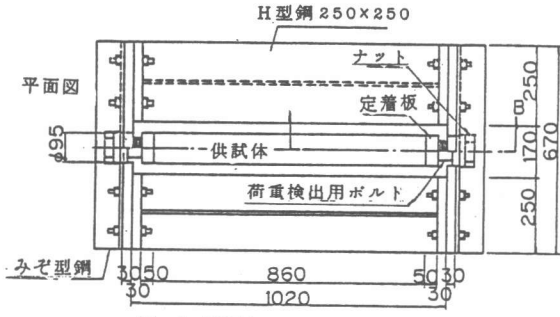


図-1 引張りリラクゼーション試験機

なお、載荷フレームにはひずみ導入力時、弾性変形を生じるが、この変形は供試体のリラクゼーションにともない弾性的に回復する。従って載荷フレームの変形量が過大であると、一定ひずみ保持という点において実験精度上大きな問題が生じると考えられる。この点について著者らは、フレーム剛性と供試体剛性の比を因子とする有限要素法を用いた数値シミュレーションを行い、本研究で用いた載荷フレームにより実用上十分な精度でリラクゼーション特性を求めることが出来ることを明らかにしている²⁾。また、載荷にあたっては、供試体を弾性的に支持し、かつ供試体の中央部各面に導入ひずみをモニターするためのひずみゲージを貼付した。

3-3 実験方法

リラクゼーション特性の配合依存性に関する実験では、圧縮リラクゼーション実験用供試体は、10×10×40cmのものを、また引張りリラクゼーション実験用供試

	スラブ (cm)	細骨材率 (%)	水セメント比 (%)	単 位 量 (Kg/m ³)			
				セメント	水	細骨材	粗骨材
A配合	15	44	50	346	173	793	996
B配合	8	42	60	272	163	771	1079

表-1 配合条件 (A配合, B配合)

体は10×10×86cmのものを、表-1に示す2種類の配合について実験を行った。以下本文では表-1の配合をそれぞれA配合, B配合と呼ぶことにする。供試体の養生条件は温度20±2℃, 湿度90%以上とした。各供試体への導入ひずみレベルの規定は、強度に対する一定比率の応力により間接的に規定した。本研究では載荷応力レベルを強度の50%とした。また、載荷材令は3, 21日の2材令とした。

一方、載荷応力の影響に関する実験では、載荷材令は3, 7, 21日の3ケースとした。圧縮リラクゼーション試験と引張りリラクゼーション試験における導入応力の大きさは、各々の材令において、それぞれ15, 20, 23kgf/cm²程度とし、これを応力レベルに換算すると圧縮では7~8%, 引張では80~90%に相当する。尚、コンクリートの配合は表-1に示すA配合のものをを用いた。

4. 圧縮および引張りリラクゼーション特性に及ぼす配合ならびに載荷応力の影響

本研究で行った配合ならびに導入応力の影響に関する実験結果について考察を行う。

4-1 配合の影響

(1) 圧縮リラクゼーション特性におよぼす配合の影響

載荷材令3日および21日におけるA配合コンクリートとB配合コンクリートの圧縮リラクゼーション試験結果を、図-2ならびに図-3に示す。図-2から載荷材令3日でのA配合コンクリートの圧縮リラクゼーション曲線の、1/2緩和時間ならびに終局緩和量は、それぞれ12~13時間および66~67%であり、一方、B配合コンクリートにおいては、それぞれ9~17時間および68~78%となっている。すなわち、終局緩和量はB配合コンクリートのほうがやや大きくなる傾向にあり、平均値でみれば、A配合コンクリートの終局緩和量は66%、一方B配合コンクリートは74%となりその差は8%程度となる。一方、1/2緩和時間については、A配合コンクリートとB配合コンクリートのあいだには明確な差異は認められない。図-3から、載荷材令21日では、A配合コンクリートの1/2緩和時間と終局緩和量はそれぞれ、7~16時間および34~44%、一方、B配合コンクリートのそれは6~10時間および45~47%となっている。すなわち、載荷材令21日においても3日と同様、B配合コンクリートの終局緩和量がやや大きくなっている。一方、1/2緩和時間においては、A配合コンクリートとB配合コンクリートとの間には明確な差異は認められない。

(2) 引張リラクゼーション特性におよぼす配合の影響

載荷材令3日および21日におけるA配合コンクリートとB配合コンクリートの引張リラクゼーション試験結果を、図-4ならびに図-5に示す。図-4から、載荷材令3日でのA配合コンクリートのリラクゼーション特性の終局緩和量は12~17%、平均14%、また1/2緩和時間は0.12~0.50時間平均0.78時間となっている。一方、B配合コンクリートでは、それぞれ11~17%、平均13%および0.33~0.96時間、平均0.78時間

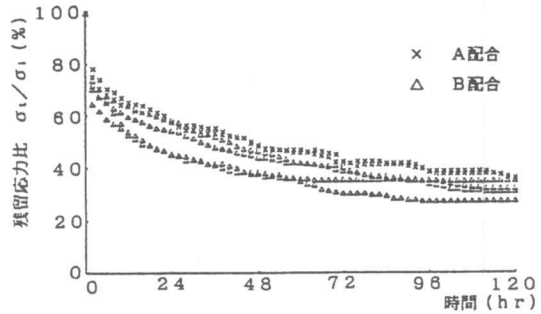


図-2 圧縮リラクゼーション試験結果 (配合の影響, 3日)

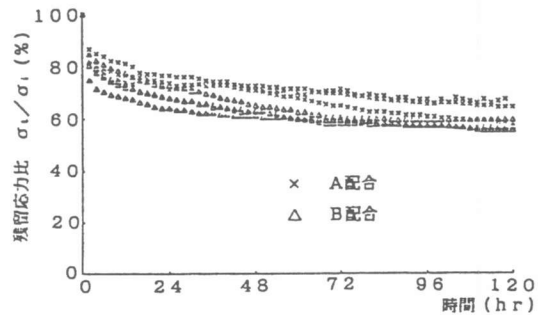


図-3 圧縮リラクゼーション試験結果 (配合の影響, 21日)

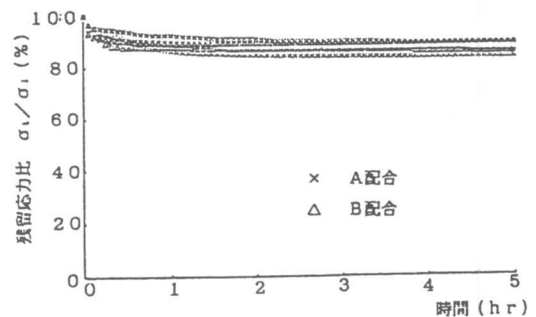


図-4 引張リラクゼーション試験結果 (配合の影響, 3日)

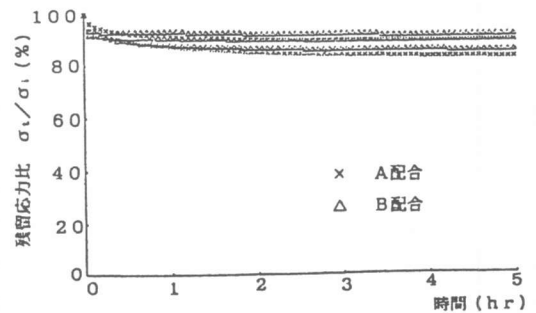


図-5 引張リラクゼーション試験結果 (配合の影響, 21日)

となっている。すなわち、終局緩和量においては、A配合とB配合コンクリートの間にはほとんど差異は認められない。一方、1/2緩和時間については、B配合コンクリートのほうが平均値としては大きい値を示したが、ばらつきが大きく本研究の範囲内ではA配合コンクリートとB配合コンクリートとの間における差異を判断することは困難である。図-5から、載荷材令21日では、A配合コンクリートの終局緩和量は12~19%、B配合コンクリートでは10~16%で、載荷材令3日と同様、A配合コンクリートとB配合コンクリートの間にはほとんど差異は認められない。

4-2 載荷応力の影響

(1) 圧縮リラクセーション

図-6~図-8に各材令における試験結果を示す。各図から、各載荷材令とも載荷後1時間以内に10~20%の応力緩和が発生し、その後の応力緩和は次第にゆるやかとなる傾向を示している。各図より、載荷材令3日では96時間後に初期載荷応力の95%が緩和している。載荷材令7日においては90%程度、また載荷材令21日においては70%程度の緩和量を示している。導入応力の大きさは25kgf/cm²であるが、載荷応力レベルで見れば、圧縮強度の7~8%となる。これまでに得られている載荷応力レベル30~80におけるリラクセーション特性と同様、載荷材令が大きくなると応力緩和量が減少し、応力の終結が早くなる傾向を示している。しかし、各材令とも載荷応力レベルが30%以上の特性に比べて終局緩和量が大きくなる傾向が認められた。

(2) 引張リラクセーション試験結果

各載荷材令における引張リラクセーション曲線の1/2緩和時間は、材令3日が0.28時間、材令7日が0.31時間そして材令21日が0.34時間で、これまでに得られた載荷応力レベル30%以上のものと変化はない。また終局緩和量も、材令3日が14%、材令7日が18%、そして材令21日が18%で各材令とも応力レベル30%以上のものとほぼ同程度である。

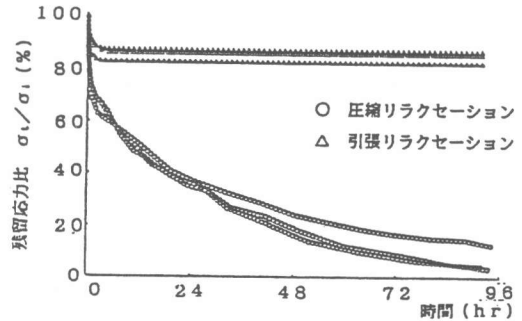


図-6 圧縮及び引張リラクセーション試験結果(載荷応力の影響, 3日)

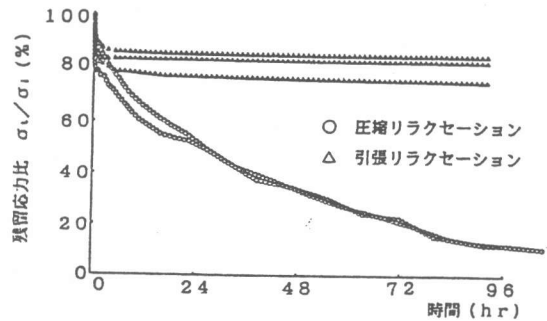


図-7 圧縮及び引張リラクセーション試験結果(載荷応力の影響, 7日)

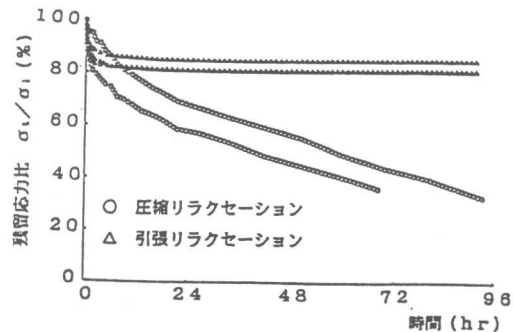


図-8 圧縮及び引張リラクセーション試験結果(載荷応力の影響, 21日)

(3) 圧縮特性と引張特性の相違

図-6～図-8において導入応力の絶対値を同一とした場合の圧縮リラクセーション特性と引張リラクセーション特性を比較すると、終局緩和量には全ての材令で圧縮下の方が4～7倍大きく、また緩和率の進行は引張下の方が圧縮下に比べ非常に早く、引張下ではきわめて短期間で緩和挙動が終結している。載荷応力レベルを同一としたこれまでの研究でも、圧縮下と引張下では、同様の相違が認められている。従って、本研究の結果とこれまでの研究成果を総合すると、載荷応力の大きさにかかわらず、圧縮リラクセーションの終局緩和量は比較的大きく、応力緩和も比較的長期間を要して進行するという特徴を持つのに対し、引張リラクセーションは、圧縮下の特性とは対照的に緩和量も小さく、短期終結性であるという特徴が認められる。このことから、圧縮下と引張下では、応力緩和特性が根本的に相違していることがさらに明確になった。

5. まとめ

本研究は、リラクセーション特性におよぼす載荷応力ならびに配合の影響を明らかにするとともに、従来からの研究成果を踏まえてコンクリートのリラクセーション特性について考察を加えたものである。本研究で得られた結論を要約すれば次のようになる。

(1) コンクリートの配合が水セメント比において10%増加し、かつ単位セメント量が 74kgf/m^3 減少した場合、圧縮リラクセーション特性において著しい変化は認められないが、終局緩和量は平均的に7～8%程度増加する傾向にあった。

(2) 引張リラクセーションにおいては、配合の影響は少なく、全体的なリラクセーション曲線もほとんど変化しない。

(3) 圧縮ならびに引張リラクセーション試験における導入応力の大きさを $20 \pm 5\text{kgf/cm}^2$ と同一にした場合においても、導入応力に対する強度の比(載荷応力レベル)を同一とした場合と同様、圧縮下と引張下の特性間には明確な差異が認められた。このことから、両者の応力緩和の特性は根本的に相違していることが考えられる。

(4) 圧縮リラクセーションにおいて、載荷応力レベルが7～8%と低い場合、載荷応力レベルが30%以上の場合にくらべて終局緩和量が大きくなる傾向にあった。

[参考文献]

- (1) 野中資博：コンクリートの引張応力緩和に関する一考察，農業土木学会論文集第96号，pp58～63 (1981,9)
- (2) 森本，平田，小柳：若材令コンクリートのリラクセーション特性とその評価法に関する研究 土木学会論文集 第396号/V-9 1988,8