

[17]

若材令に載荷されたモルタルの変形性状

—主として圧縮クリープ性状について—

正会員の栢田佳寛(建設省建築研究所)

森下日出真(東京電力)

同 孫寛乾(東京工業大学)

■ 序

コンクリートの強度がまだ十分でない時に、型枠や支保工を撤去してしまった場合や、予想以上に大きな荷重が加わった場合など、それによって生ずる変形量は非常に大きくなる事が予想されるものの、具体的にどの程度の大きさになるかはまだそれほど明らかではない。また、マスコンクリートの熱応力や膨張コンクリートの内部応力の解析などには、コンクリートの硬化過程における力学性状、特にクリープ性状の把握が必要となる。

本報告は、コンクリートでの実験に先立って、モルタルについて行った、若材令時連続圧縮載荷時のクリープ性状に関する実験結果の概要を述べたものである。

■ 実験方法

■ クリープ試験機

図1に示すような、水槽付きの7式圧縮クリープ試験機を用い、乾燥の影響を除くために水中載荷方式とした。

■ 供試体の形状・寸法、使用材料・調合

供試体は、相馬珪砂を用いて調合が $w/c = 0.60$, $s/c = 2.5$ のモルタルで、その大きさは、試験機の容量の関係で $\phi 5 \times 20\text{cm}$ 円柱形とした。

■ クリープ試験における荷重

載荷時の強度に対して一定の応力強度比の荷重をかけ、その後荷重を変化させなかったものと、載荷応力と強度との比(応力強度比 N) ができるだけ一定となるように荷重を階段状に増加させたものとなる。載荷期間は、前者では材令1、2、3、7日から応力強度比 N が載荷時の約半分になるまでとし、後者では材令1～28日、3～28日、7～28日、14～28日とした。載荷応力は、前者では載荷時の強度に対して応力強度比が0.5となるように、また後者では0.2～0.7の範囲の種々の応力強度比で行った。更に後者では荷重増加分隔を違えた実験も行った。

強度発現の状況は、同一形状の供試体を多数作っておき、適時その圧縮強度試験を行って調べた。強度発現と載荷応力、および応力強度比の経時変化の一例を

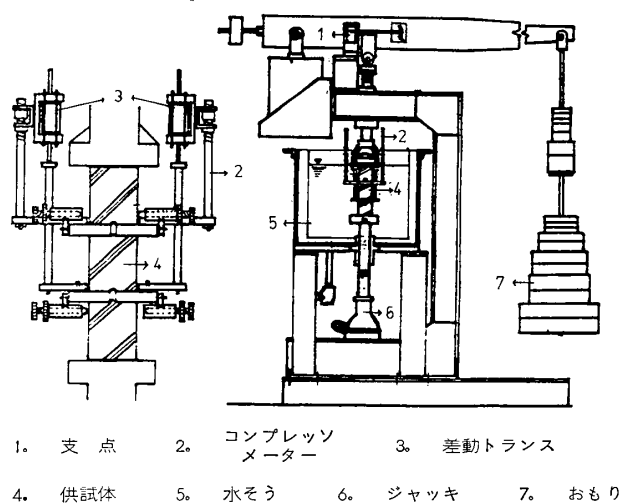


図1 試験装置

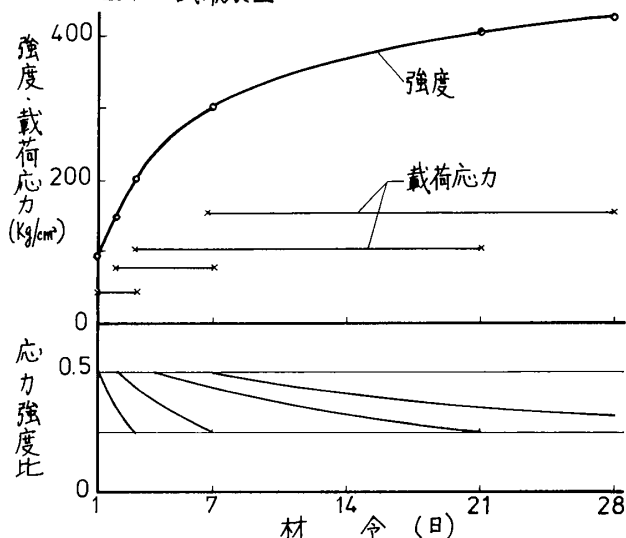


図2. 強度・載荷応力 応力強度比の変化

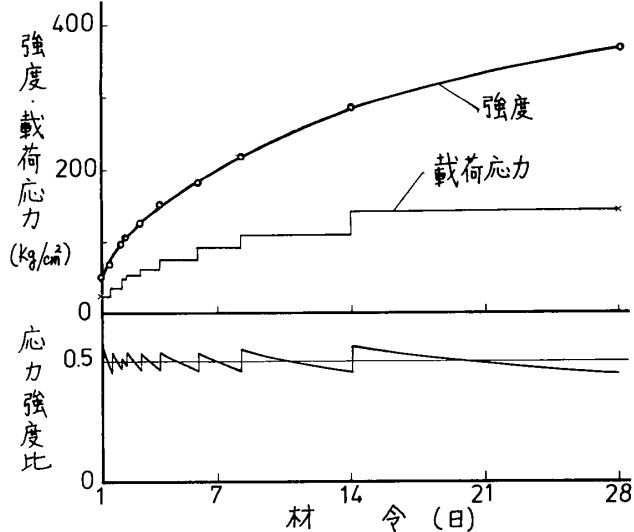


図3 強度・載荷応力・応力強度比の変化

図2, 図3に示す。

■ 実験結果と検討

■ 荷重変化がない場合の歪量の経時変化

図4は、載荷応力を途中で変化させない場合の歪量の経時変化を示すものであり、図中の点線は全歪から瞬時変形を差引いたクリープ歪を示している。

載荷荷重は、いずれも載荷開始時の強度に対して応力強度比で一定 ($N=0.5$) となるようにかけており初期材令ほど同一応力強度比に対する瞬時変形が小さい事がわかる。

また、クリープ歪に関しては、初期材令ほど強度発現の速度が大きく、応力強度比が急激に減少するため増加の割合が小さくなるのが早い事がわかる。

■ 応力強度比一定の場合の歪の経時変化

荷重変化がない場合には、応力強度比が時々刻々に変化しており、載荷時材令が異なる場合のクリープ歪を比べる意味が余り明確ではない。そこで強度の発現に対して、常にできるだけ一定の応力強度比の荷重がかかっている状態でのクリープ歪を検討することとした。

図5は 種々の応力強度比に対して、載荷時の応力強度比を変えずにできるだけ一定の応力強度比となるように荷重増加を行った場合で、材令1日から載荷したものの一部を示し、また図6は、応力強度比が $N=0.5$ で、載荷時材令を変えた場合の結果を示したものである。それぞれ図中の点線は、全歪から瞬時変形を差引いたクリープ歪を示している。

応力強度比ができるだけ一定となるように荷重増加を行った場合のクリープ歪と応力強度比 N との関係は図7に示すように、線型ではなく N^x に比例しており、 x は材令とともに減少する傾向にある。

図6の中の一点鎖線は、載荷時材令を変えた場合のクリープ曲線において、同一載荷期間の点を結んだものであるが、これによれば初期材令ほどクリープ歪が大きい事がわかる。これは、荷重増加直後のクリープ歪速度は非常に大きい事が予想され、応力強度比をできるだけ一定に保つためには、強度発現の激しい初期材令ほど頻繁に荷重増加を行う必要があり、その分だけこの荷重増加直後の大きなクリープ歪が累積されるためだと考えられる。

一方、同じ図6において、載荷開始後数回の荷重増

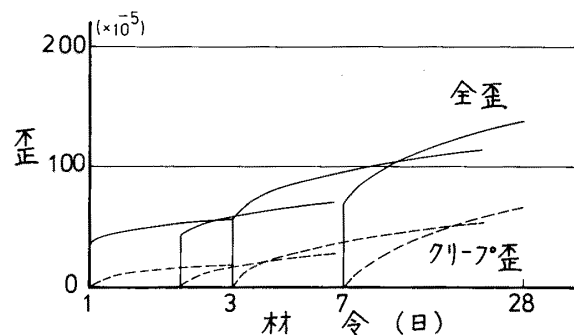


図4 荷重変化がない場合の歪量

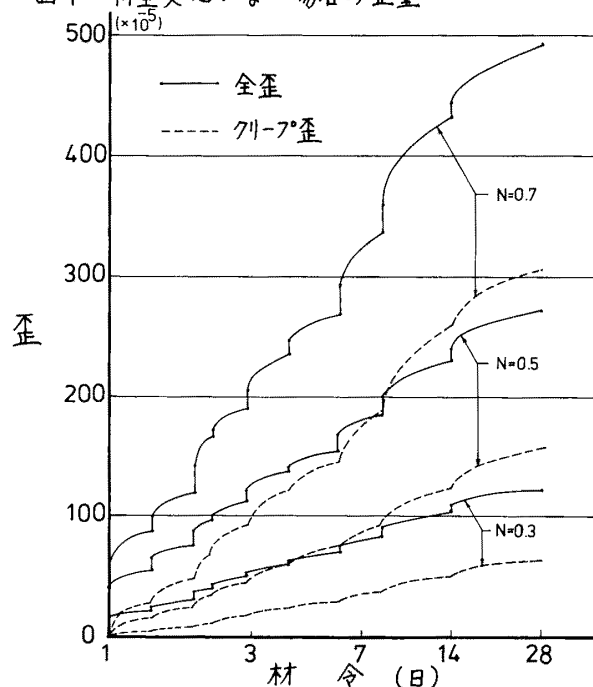


図5 種々の一定応力強度比に対する歪量

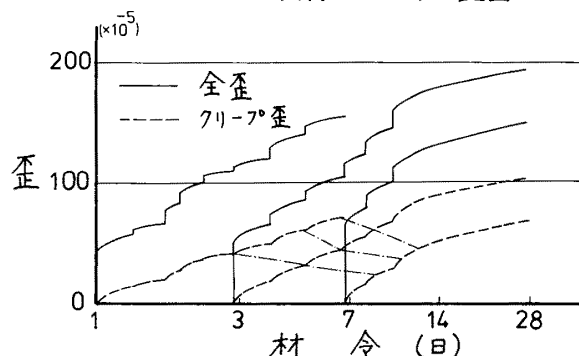


図6 応力強度比一定で載荷材令を変えた時の歪量

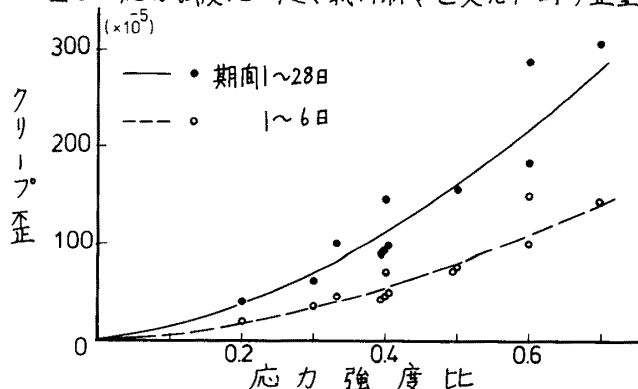


図7 応力強度比とクリープ歪との関係

加を行ったあとのクリープ曲線は、上下に平行移動してやると、互いに一致して殆んど重なり合うことも認められる。

以上の事から、応力強度比をできるだけ一定に保つように逐時荷重増加を行っていった場合のクリープ性状は、荷重増加のやり方に影響されることが考えられる。そこで、荷重増加間隔を変えてクリープ実験を行ったが、その結果は図8に示すとおりである。ここでは、一定応力強度比を0.4とし、荷重増加間隔の短いものは $N=0.42$ で載荷し、 $N=0.38$ に低下するごとに0.42まで荷重を増加させ、中位のものは0.44から0.36になるごとに、また長いものは0.48から0.32になるごとに荷重増加を行った。図8からは、これらの三者のクリープ量は、途中はともかく、最終的には殆んど一致していることが認められる。

■ 若材令クリープ量の算定に関する考察

■ クリープ歪速度

若材令のモルタル・コンクリートでは、水和反応の進行に伴って組織が変化し、載荷荷重に対する応力強度比などの諸条件が変化していく。このような変動条件下でのクリープ量を算定するためには、種々の条件と歪速度との関係を求め、この歪速度を変動条件下で逐時積分してクリープ量を計算する方法を採用するのが便利な場合が多い。

図9は 図8に示したクリープ実験の結果のうち、荷重増加間隔の短いものと中位のものとをクリープ歪速度で示したものである。載荷直後や荷重増加直後の歪速度は非常に大きいのが、やがて一つの曲線に漸近していくのがわかる。

図中の○印は、それぞれ応力強度比が $N=0.4$ になったと考えられる点を示したものであるが、これらの点を結んだ曲線は、荷重増加間隔の短い方が上に位置していることが認められる。これは、荷重増加後に応力強度比が減少していく過程で、同じ応力強度比になるまでの時間は荷重増加間隔の短いものほど早く、それだけクリープ歪速度の減少の割合も小さいと考えられるためであろう。この荷重増加間隔の違いによって同じ応力強度比のクリープ歪速度に差が生じるという結果は、図8で示した最終的なクリープ歪には殆んど差がないという結果と一見矛盾しているようであるが、これは図10のように考えれば納得されるであろう。

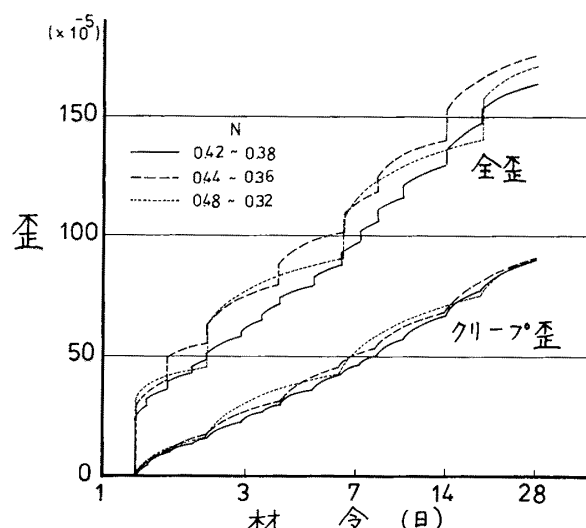


図8 荷重増加間隔を違えた時の全歪とクリープ歪

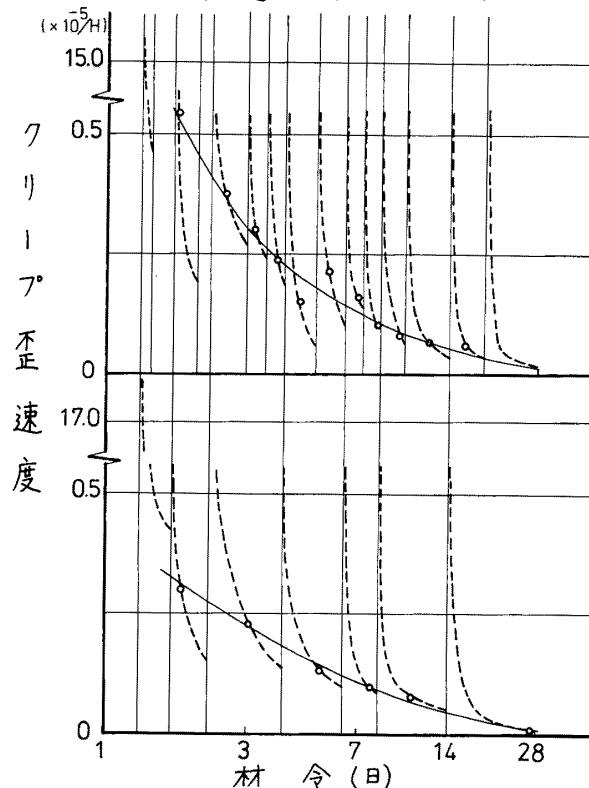


図9 荷重を階段状に増加させた場合の歪速度の変化

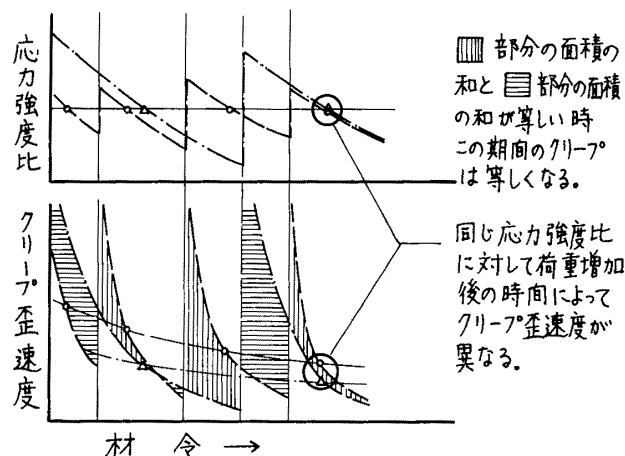


図10 同じ応力強度比に対して歪速度が異なる例

■ クリープ歪速度に及ぼす応力強度比・ゲルスペース比・載荷時間の影響

前項に述べた事から、若材令クリープ歪速度に影響を及ぼす要因として、応力強度比(N)と材令(t)以外に載荷後(荷重増加後)の時間(T)が考えられる。材令については、水和反応の進行が常に同じ傾向を示すとは限らないのでゲルスペース比を用いた方が便利で、ここでは強度がゲルスペース比の n ($n=3$)乗に比例する事を利用して、材令28日における値を仮りに1としたみかけのゲルスペース比(X)を各材令における強度から求め、これを用いることにした。

図11は、みかけのゲルスペース比に対するクリープ歪速度を応力強度比及び荷重増加後の時間別に表わしたものである。なお、荷重増加後の時間は、5時間以内、5～50時間、50時間以上の3つの群に分けて示した。この図によれば、ゲルスペース比に対する歪速度にはかなりのばらつきがあるものの、荷重増加後の時間によって差がある事が認められる。図中の直線は、この実験の範囲で得られたみかけのゲルスペース比と歪速度の関係を示すものであり、ゲルスペース比の増加に対して、歪速度が減少していくのがわかる。

■ 遅延弾性歪

載荷(荷重増加)後しばらくの間はクリープ歪が急速に進む時期があり、一般にこの歪は遅延弾性歪と呼ばれているが、載荷後どの程度の時間までをさしているかはそれほどはっきりはしていない。今回の実験では、荷重増加後5時間以内の歪速度は非常に大きな値を示しており、またそのばらつきも非常に大きいので、ここでは一応荷重増加後5時間までのクリープ歪を遅延弾性歪として扱う事にする。

図12は、みかけのゲルスペース比と瞬間弾性係数及び遅延弾性も含めた弾性係数の関係を示したものである。なお、ここに示した弾性係数は、応力強度比が0.4における持線係数である。これによれば、遅延弾性も含めた弾性係数の瞬間弾性係数に対する割合は0.45から0.8の範囲にあり、この値はゲルスペース比が大きくなるにつれて大きくなる傾向にあることがわかる。

■ 結び

若材令におけるクリープ歪速度は、一定荷重に対しては急速に小さくなるが、応力強度比・載荷後時間などの条件が同じ時には初期材令ほど大きい値を示す。

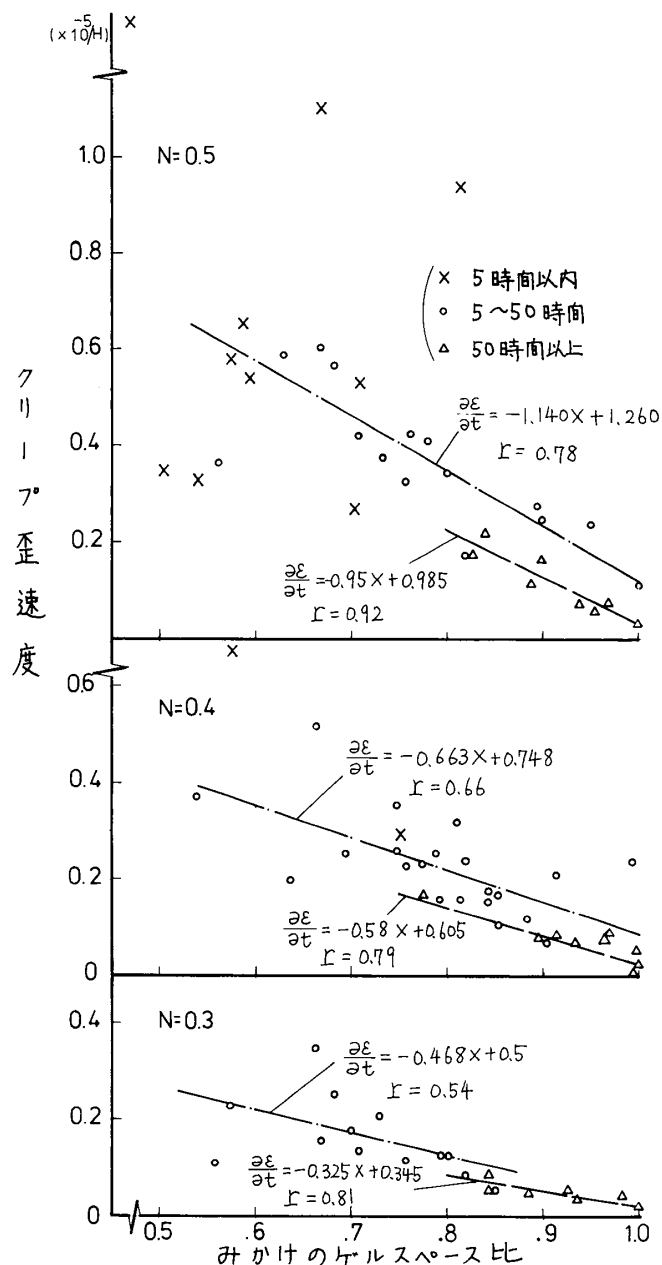


図11 歪速度に及ぼす種々の要因の影響

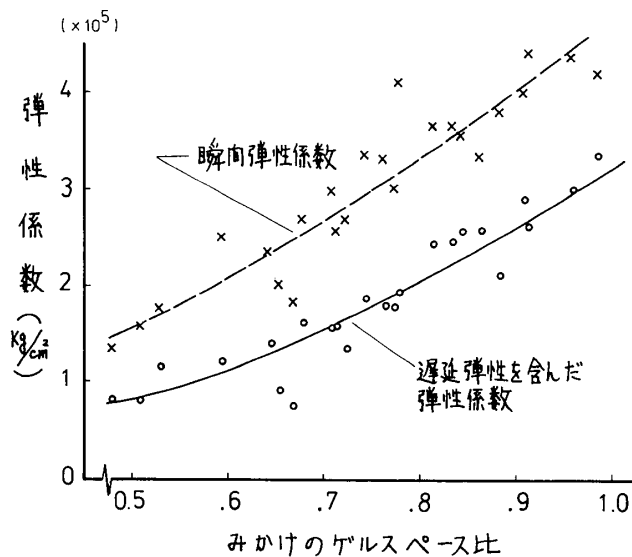


図12 みかけのゲルスペース比と弾性係数の関係