

ずと思います。実際設計しますときも、車輪は相対する自由辺からはなれた位置にあるわけですから、このような仮定のもとにえられた近似解は厳密解に代用しても差支えないと思います。

最後にいろいろ有益なる御指示をいただきましたこ

とに対し、重ねて感謝の意を表するとともに、従来の拙文中不十分な点多々あることと存じますがこの機会に御寛容のほどお願い致し、今後ともよろしく御指導下さい。

## セメントモルタルの塑性とクリープ

(土木学会論文集第 13 号所載)

正 員 岡 田 清

久保慶三郎氏の標記論文は、コンクリート、モルタルのクリープについて関心を有している筆者にとつてはなほは興味ふかく拝読いたしました。以下 2, 3 の点につき御説明を願うとともに卑見をのべさせていただきます。なお論文に対して筆者の誤読した点もあるかと思いますが、よろしく御寛容下さい。

1. 本論文の目的は、クリープに対してフックの法則が成立せず、しかも破壊の状態には触れないような高応力における応力-ひずみ関係を、該程度の応力による短時間のクリープから説明されようとしたものがありますが、この応力段階においては材料の塑性的性質はその過去の履歴とも非常に密な関係をもつものがあります。したがってクリープという現象のみの観測から応力-ひずみ関係を明らかにしようとするのは一般的に困難と思いますが、この点についての御意見をおうかがいいたします。

2. クリープ現象はもちろん低応力でもみられるものでありますから、p. 12.1「まえがき」の 1, 2 行目にフックの法則に従っている間は「クリープという現象を生ぜず云云」とあるのは間違いかと思えます。ただこの場合はクリープに対しても重合の法則が充分適用しえませんが……。

3. A. Nadai の (1), (2) 式の仮定に温度の項が入っていませんが、これは温度が一定のときのみ採用しうるわけですから、実験された時の温度についても一筆あつた方が、今後この種の実験にある参考となるのではないのでしょうか。

4. W.R. Lorman のクリープ式については卑見もありますが、これは別として彼の意図としてはこの式の適用についてはクリープに対するフックの法則が成立する範囲(原文では 650 psi 以下くらい)に対してであり、それ以上については触れていないようです。

5. 図-2 (b) で  $\sigma = 262.5 \text{ kg/cm}^2$  (これはモルタ

ルの破壊強さの何%の応力であるか貴論文では明示されておりませんが)を約 30 分間持続したときからクリープがいわゆる第 3 段階に入ることを示されています。これと同じ現象は過大応力をうけたコンクリートについても実験されています (Shank: "Plastic Flow of Concrete at High Overload" A.C.I. vol. 45. 1947, p. 496, Fig.3)。すなわちコンクリートが破壊強さの 90.5% の持続応力をうけたとき、約 3 時間でこの階段に達し、6.9 時間で破壊しています。貴実験および Shank の実験からモルタル、あるいはコンクリートについてもクリープ限 (Creep Limit, Dauerfestigkeit) の存在することがわかつたのであります。Shank によればコンクリートの場合破壊強さの  $\frac{1}{4}$  あるいはそれ以上くらいの持続応力をうけるとこの階段が現われうると予想しています。貴実験でも  $\sigma = 225 \text{ kg/cm}^2$  をある時間連続載荷したらおもしろかつたとおもいます。このクリープ限は構造物の使用年限、安全率に関して重要な資料をあたえるものであります。そしてコンクリート等でクリープ問題を取扱い普通興味あるのは重合の法則が適用されうる範囲のことではありますが、この法則が適用できないような応力状態と上述のクリープ限とがどういう関係にあるかを研究することも極めて重要であります。何となればクリープ限以上の持続応力による塑性変形は、むしろ破壊の問題となるからであります。

6. (10) 式の成立には、応力が破壊応力の 90% 以下を問題にし、しかも載荷時間が 5~10 分が重要視される範囲の場合であるとされていますのに、(11) 式の各実験係数の決定には 25 分間載荷の実験値を採用されたように思いますがこれは矛盾しませんか。また (11) 式中の  $\sigma_0$  の値はどれくらいですか。また (10) 式が成立する場合の  $n$  の決定には p. 18. 2 行目に最小自乗法により  $n = 0.3620$  とされていますが、これは載

荷何分のをとられたのでしょうか。図—2 (a), (b) からみますと最初は  $n=0.5\sim 0.4$  くらいのように思いますが貴論文では  $n=0.2\sim 0.36$  くらいの値 (p. 17 下から6行目) となっています。

7. 図—5 の実験において最初  $150 \text{ kg/cm}^2$  の応力から始められていますが、これをもつと下の応力から、あるいは上の応力状態から始めたら 図—5 とは幾分違ったものを得るおそれがありますか。この応力階段では材料の過去の履歴がかなり影響すると思いますが、この点を御検討なさる必要はないでしょうか。

8. 普通の強さ試験の時の加圧速度よりもはるかに遅い速度で行われた 図—7 の実験では、明らかにクリ

ープの影響の入っていることが予想されますが、式 (16) によつてこれが解析できたことははなはだ結構なことだと思います。A. Nadai も式 (2) の仮定は材料の試験結果の解析に有効なものだと言っていますが、式 (2) あるいは式 (13) の形を変形応力分布に関する一般問題にそのまま導入することは、はなはだ数学的困難にぶつかると存じます。

以上要するに本論文は材料の試験結果の解釈に有効な示唆をあたえ、はなはだ興味ぶかいものでありますが以上の諸点につき、御教示、御意見を得られたら幸甚に存じます。

著者 久保慶三郎

岡田清氏の有益なる御意見を承つて著者として深謝している次第です。概括的に申すと、塑性に対する考え方の近似度を高めることを主眼とし、その実験的検討を行つたのが、あの論文です。

以下簡単に御質問にお答えします。

1. クリープという現象のみの観測から応力—ひずみ関係を明らかにするのが一般的に困難であるという御意見ですが、抽象化された問題としては過去の履歴が無視されうる状態を考えただけのこととして、過去の履歴のある場合は更に複雑な問題であると思いますが、これについては後に研究したいと思つています。また本論文はクリープの時間と応力との関係について主に述べたもので、応力—ひずみ関係を述べたのはその考え方の検討と、応用の一例を述べたわけです。

2. この意見の相違はフックの法則の考え方にあるように思います。実験的にフックの法則に従っている材料でもクリープがあることは 図—4 を御覧になるとわかりますように、著者も否定しているわけではありません。ただ理論的にフックの法則に従う材料でクリープがあるかないかの問題ですが、著者の考えではないと思つているわけです。

3. 温度の件ですが、セメントモルタルについて常温で、クリープ、塑性にどのような影響があるか未だ実験しておりませんが、A. Nadai その他の研究者の温度とクリープに関する実験からみますと常温では大した影響はないものと考えられると思います。

4. 著者は Lorman の式が全然無価値だと述べているわけではありませんで、その適用範囲はクリープと応力とが比例する範囲で成立しその範囲は大きいものでないことと、応力の大きいときには別の考え方を

しなければならぬということを説明しただけです。

5. この実験に使用したモルタルの強度は  $275 \text{ kg/cm}^2$  から  $290 \text{ kg/cm}^2$  でしたから  $262.5 \text{ kg/cm}^2$  は  $95.6\sim 90.7\%$  になっています。なお本実験は短期間の実験ですから Creep Limit を定量的に示すにはあまりにも期間が短いと思います。なお  $\sigma=225 \text{ kg/cm}^2$  である時間連続載荷したらとの御意見ですが、実験設備の関係でこの実験がやれなかつたわけで、実に残念に思つています。

6. クリープ量は時間のみの函数と応力のみの函数との積で与えられることを、実験から帰納したわけですから (11) 式の各係数を決定するのに 25 分載荷でも差支えないと思いますが……。 (11) 式中の  $\sigma_0$  は書き落して失礼しましたが  $\sigma_0=150 \text{ kg/cm}^2$  です。図—2 (a), (b) から求めると  $n=0.5\sim 0.4$  というお話ですが。図—2 からでは著者の値の方が妥当のようですが……。

7. 過去の履歴の問題は各所で指摘されたように、塑性の問題の重要問題ですが、どのような影響をもっているかは今後の研究によつてお答えしたいと思つています。

8. 式 (2) あるいは式 (13) の形を変形応力分布に関する一般問題にそのまま導入することはたしかに数学的困難があると思いますが、近似度を落すなり、問題を抽象化するなりして、第一近似でも一般塑性材料の変形応力分布の性質を明らかにしたいと思つている次第です。

以下お答えしましたがあるいは答が正鵠を失している点もあるかと思いますが、不明の点がありましたらさらに御討議下さるようお願い致します。