

# 含水変化を受けたコンクリート供試体の曲げ強度

## THE EFFECT OF CHANGES IN MOISTURE ON FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE SPECIMENS

小梁川 雅\*・福田 正\*\*

By Masashi KOYANAGAWA and Tadashi FUKUDA

Flexural strength as related to changes in moisture has been studied for specimens of various ages both in cases of soaking air dried curing specimens and drying immersed curing specimens. Based on the results obtained by measuring changes in strain and water content of specimens, the cause of changes in flexural strength was investigated. Consequently, it was determined that internal stress was generated in the specimens by the seepage of water into and out of the specimens and that this phenomenon greatly affected flexural strength. Furthermore, the rate at which strain was generated by changes in water content varied considerably according to age of specimens and conditions under which water seeped into or out of the specimens. These factors proved to be the cause of complex changes in flexural strength.

### 1. 緒 言

わが国ではコンクリート舗装の設計、管理の基準に曲げ強度が用いられている。しかしこの曲げ強度の挙動に関しては未知の点が多い。

曲げ強度に対する外的な影響因子として、載荷条件、供試体の形状および、養生期間中の温度と水分の供給条件などが指摘されている<sup>1)</sup>。特にこれらの中で水分の供給条件は、セメントの水和作用に影響を与えるばかりでなく、供試体内の透水時間の遅れに伴う含水状態の変化によって内部応力を発生させ、曲げ強度に影響を与える。またこの問題は、実際のコンクリート舗装版の自然環境の変化によって生じる応力状態を検討する際にも無視できないように思われる。

このような含水状態の変化に関する供試体試験として気乾養生供試体を強度試験前に水浸させた場合と、水中養生供試体を強度試験前に乾燥させた場合が考えられる。前者については、Walkerらの研究<sup>2)</sup>、後者については吉本らの研究<sup>3)</sup>などがある。しかし、含水変化現象の両側面である水浸と乾燥の影響について、一元的に検

討を加えたものはないように思われる。

本研究では気乾養生供試体を水浸させた場合、および水中養生供試体を乾燥させた場合について材令ごとに試験を行い、含水変化に伴う曲げ強度の挙動変化を明らかにした。さらに、供試体のひずみ変化および含水率の変化の測定結果から、この曲げ強度の挙動変化の原因についても考察を行った。

### 2. 実験の方法

供試体に与えた含水変化の実験条件は、次の2シリーズである。

#### A シリーズ

気乾養生した後、試験前の一定時間水浸させた実験

#### B シリーズ

水中養生した後、試験前の一定時間乾燥させた実験

コンクリートの配合は、Bシリーズにおいて目標強度の補正を行ったので若干異なった。それぞれの配合は表一に示すとおりである。供試体寸法は15×15×53 cmで、曲げ強度試験は3等分2点載荷で行った。実験条件は以下に示すとおりである。

#### A シリーズの場合

- 1) 水温 20°C の恒温水槽で水中養生する。
- 2) 室温 20°C、湿度 60% の恒温室で気乾養生する。

\* 学生会員 工修 東北大学大学院 土木工学科  
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

\*\* 正会員 工博 東北大学教授 土木工学科(同上)

表一 コンクリート配合表

A シリーズ									
粗骨材の最大寸法	単位水量	単位セメント量	水セメント比	細骨材率	単位細骨材量	単位粗骨材量		減水剤	
						5-20mm	20-40mm		
40mm	145kg	322kg	45%	40.3%	73.0kg	56.3kg	56.3kg	0.81kg	

B シリーズ									
粗骨材の最大寸法	単位水量	単位セメント量	水セメント比	細骨材率	単位細骨材量	単位粗骨材量		減水剤	
						5-20mm	20-40mm		
40mm	132kg	322kg	41%	41.0%	74.5kg	56.3kg	56.3kg	0.81kg	

目標スランプは、2.0 ± 0.5cm

3) 室温 20°C, 湿度 60% の恒温室で気乾養生した後, 試験前に一定時間水温 20°C の恒温水槽で水浸させる. 水浸時間は, 6, 12, 24, 48, 96 時間とする.

B シリーズの場合

- 1) 水中養生…A シリーズと同様
- 2) 水温 20°C の恒温水槽で水中養生した後, 試験前に一定時間室温 20°C, 湿度 60% の恒温室で乾燥させる. 乾燥時間は, 20, 40 分, 1, 6, 24 時間とする.

以上の実験条件で材令 14, 28, 91, 168 日において強度試験を行った. 供試体の本数は各条件について 3 本とし, 試験結果はその平均値で表わした. なお全実験を通して, その標準偏差は約 2.0 kg/cm<sup>2</sup> であった.

強度試験実施後の供試体を破砕し, 表面から約 4 cm の周辺部と中心から約 2 cm の中心部に分け, それぞれを乾燥炉で 110°C 24 時間乾燥させ, 乾燥前後の重量変化から含水率を求めた. ここでは, 110°C 24 時間の乾燥で分離される水分を自由水と考えた.

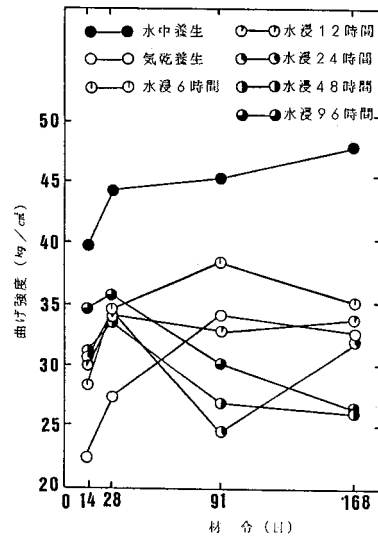
含水状態によって供試体に生じたひずみ変化を測定するために, 本実験では 15×15×53 cm の供試体の中心部にカールソン型ひずみ計 CS-10 F を埋め込んだ供試体を 3 本作成し, その平均値を求め, 含水量の変化に伴う供試体のひずみ変化量とした.

### 3. 気乾養生供試体の水浸後の強度変化 (A シリーズ)

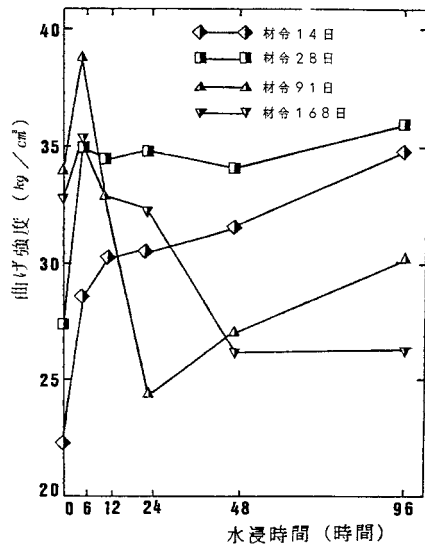
各養生条件における材令と曲げ強度の関係は, 図一に示すとおりである. 気乾養生後に水浸させた供試体の曲げ強度は, 材令および水浸時間によってかなり異なった挙動を示した. 水浸 6 時間の曲げ強度は, 材令に対して気乾養生のみの場合とほぼ同様の傾向で増加した. しかし水浸時間が 24 時間以上になると, 材令 14 日, 28 日では曲げ強度が増加したが, 材令 91 日以後では逆に低下の傾向を示した.

図二は気乾養生供試体を水浸させた場合の, 水浸時間と曲げ強度の関係である. 材令 14 日の供試体の場合水浸時間に伴って曲げ強度は増加した. 材令 28 日の場合では 6 時間の水浸によって曲げ強度は増加したが, 水浸時間が増加しても強度増加はほとんどなかった.

材令 91 日では水浸 6 時間で強度は増加したが, その



図一 材令と曲げ強度の関係



図二 水浸時間と曲げ強度の関係

後水浸時間の増加に伴って低下し, 水浸 24 時間以後は再び徐々に強度は回復した. 材令 168 日の場合では, 水浸 6 時間以後の強度低下は水浸 48 時間まで続いた.

写真一は水浸供試体の破壊後の断面である. 黒い部分が浸透領域である. この写真からわかるように供試体を水浸させた場合, 中心部には正方形の乾燥領域が残存している. この幅を X とし, これと水浸時間との関係を各材令について求めると図三のようになる. 材令 14 日, 28 日においては, 水浸による水分の浸透速度は比較的速く水浸 96 時間でほぼ中心部まで浸透した. これに対して材令 91 日, 168 日では浸透速度が遅く, 96

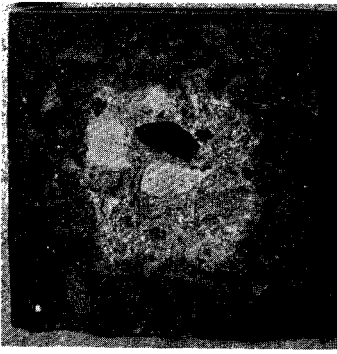


写真-1 破壊後の供試体断面の例 (材令 14 日, 水浸 6 時間の場合)

時間水浸させてもなお中心部に 3 cm 程度の乾燥領域が存在した。なお含水率の測定結果は、材令および水浸時間によって変動がみられたが、中心部分と周辺部分との差は、1.0~1.5% 程度あった。

気乾養生供試体を水浸させた場合、材令 14 日および材令 28 日の水浸直後において曲げ強度が増加する現象は、未水和セメントの水和促進と同時に、水分の浸透によって供試体周辺部分に膨張ひずみが生じることが原因であると考えられる。曲げ強度は供試体下縁の応力状態に大きく影響されるので、水浸によって生じる周辺部分の圧縮応力が、見掛けの曲げ強度増加となる。材令 91 日、168 日における 6 時間の水浸による強度増加も同様の理由によって説明されよう。

材令 91 日、168 日の長期材令における水浸 12 時間以上での曲げ強度の低下現象は、このような長期材令においてはコンクリート組織が緻密化し、内部浸透がきわめて緩やかであるので、表面部分と周辺部分との内部応力差が大きくなるためと考えられる。図-4 は、水浸および乾燥による供試体のひずみ変化を測定した結果を示したものである。本実験では供試体に水浸および乾燥を交互に繰り返した。各繰り返しにおける水浸時間は 48 時間である。この図から明らかなように、材令 14 日、28 日における水浸による膨張ひずみ量と、91 日、168 日における膨張ひずみ量では、同じ水浸時間であるにもかかわらずかなり相違している。

図-3 からわかるように、材令 91 日、168 日の供試体では水分の浸透領域が材令 14 日、28 日の供試体に比べて小さい。すなわち、材令 91 日、168 日の場合では少なくとも  $300 \times 10^{-6}$  程度の膨張ひずみが供試体の周辺部分に急激に生じることが予想される。この周辺部分の膨張によって生じる非浸透領域とのひずみ差によって、局部的なせん断破壊が生じることが推察される。曲げ強度試験では供試体中の微細なきずが強度に鋭敏に影響を与えるので、この内部破壊が曲げ強度を低下させることは

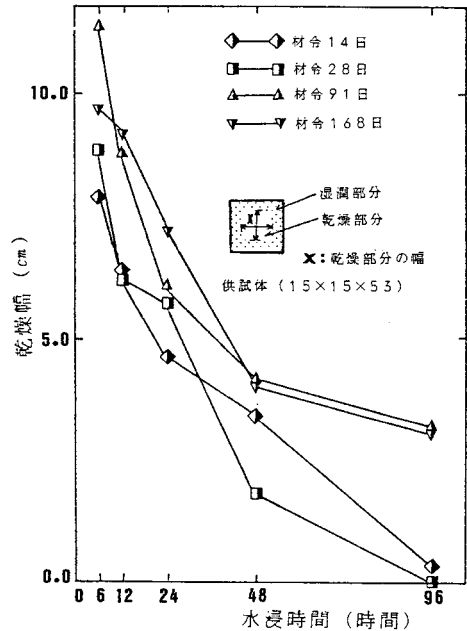


図-3 水浸時間と乾燥幅の関係

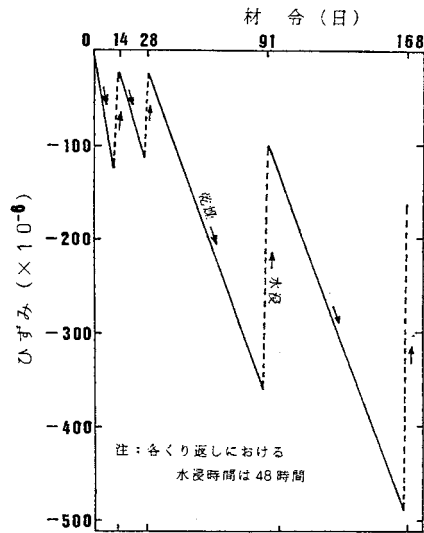


図-4 コンクリート供試体の乾燥・収縮によるひずみ変化

十分考えられる。

#### 4. 水中養生供試体の乾燥後の強度変化 (B シリーズ)

各養生条件における材令と曲げ強度の関係は図-5 に示すとおりである。水中養生後に乾燥させた供試体の曲げ強度は、乾燥時間によってそれぞれ異なった挙動を示した。

図-6 は、水中養生供試体の乾燥時間と曲げ強度の関

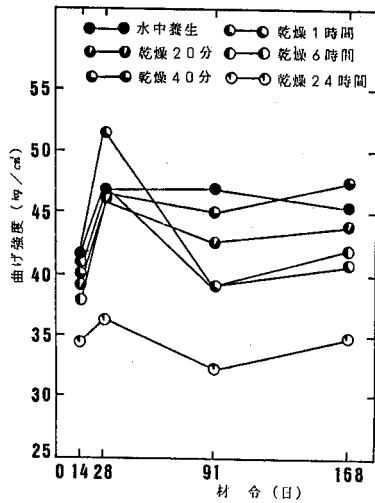


図-5 材令と曲げ強度の関係

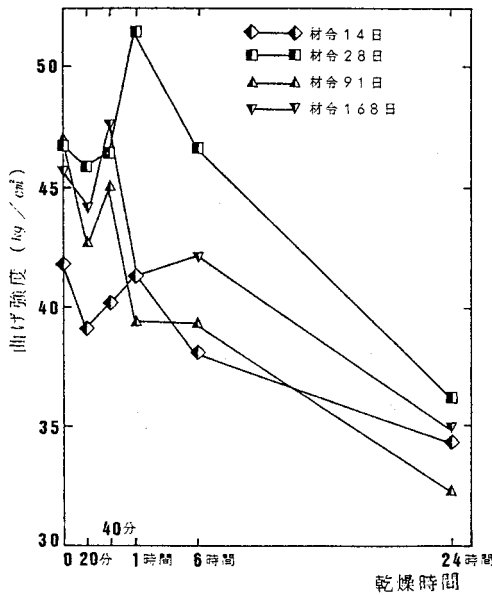


図-6 乾燥時間と曲げ強度の関係

係である。これによればどの材令の場合においても、20分の乾燥によって曲げ強度は一時的に低下するが、40分から1時間の乾燥によって回復している。しかしこれ以上の乾燥時間ではいずれの場合も再び強度は低下した。前述のように、コンクリートの曲げ強度は供試体下縁の応力状態に大きく影響される。供試体が乾燥すれば乾燥収縮ひずみにより、供試体周辺部分には内部応力と

して引張応力が発生するので、この引張応力相当分だけ供試体の曲げ強度は低下することになる。しかし、40分から1時間の乾燥によって曲げ強度が回復した現象は、乾燥収縮による供試体の内部応力状態だけでは説明できない。図-4によれば、乾燥過程で生じるひずみ変化の速度は、水浸過程に比べてかなり遅いことがわかる。つまり、乾燥に伴うひずみ変化は短時間では小さく、これによって生じる引張応力は小さいことが推察される。したがって乾燥初期の段階では、この内部応力の影響よりも、むしろセメントゲルから水分が放出されることによるゲル組織の緻密化<sup>4)</sup>の影響のほうが大きいと考えられる。

### 5. 結 論

供試体の含水変化がコンクリートの曲げ強度に与える影響として、水浸の影響(Aシリーズ)、乾燥の影響(Bシリーズ)の両側面から、それぞれ実験、考察を行った。ここで両者を総合的に考察してみると、供試体内の水分の浸透現象と放出現象によって供試体に内部応力が発生し、その曲げ強度に大きな影響を与えることが確かめられた。しかし、ひずみ変化の生じる速度は材令、水分の浸透と放出の条件などによってかなり異なり、このことも曲げ強度に影響を与えることがわかった。

以上のように、含水変化はコンクリートの曲げ強度に大きな影響を与える。このことはたとえば現行のJIS規格における現場切り出し供試体による強度試験において、一般に試験前48時間供試体を水浸させることとなっているが、この方法では曲げ強度をかなり低く評価していることになる。また、特に曲げ疲労試験の場合のように長時間試験を行う場合には、試験期間中の供試体の水分放出条件に十分な注意が必要なることを示している。

### 参 考 文 献

- 1) 道路対策専門委員会：コンクリートの曲げ強度に関する文献調査報告書，セメント協会，1983。
- 2) Walker, S. and Bloem, D.L. : Studies of Flexural Strength of Concrete—Part 2, Proceedings, Highway Research Board, Vol. 36, 1957.
- 3) 吉本 彰・萩野正嗣：養生水槽から取り出したモルタルおよびコンクリート供試体の強度の変化，セメント・コンクリート，No. 256, 1968.
- 4) 吉田徳次郎：コンクリート及鉄筋コンクリート施工方法，丸善，1956.

(1984. 3. 30・受付)