

# RC梁部材の曲げ挙動に及ぼす細孔内部の間隙水圧の影響に関する研究

## Study on effect of pore water pressure in concrete on flexural behavior of RC beam

20N3100013E 侯 之霖 (コンクリート研究室)  
Zhilin HOU/ Concrete Lab.

**Key Words:** RC beam, crack, hydrostatic pressure, flexural behavior, pore water pressure

### 1. はじめに

近年、大深度海洋構造物や地下構造物などのコンクリート構造物の利用が注目されている。これらの典型的な事例が水中トンネルや地下タンク、放射性廃棄物処理施設である。これらのコンクリート構造物においては常時荷重として水圧がコンクリート表面に直接作用すると強度が低下する可能性がある。また、これらの構造物は建造後の保守や補修などの管理が非常に困難でありながら、補修なくして長期にわたる耐久性が確保されなければならない重要構造物である。

従来、大深度海洋構造物や地下構造物におけるコンクリート構造物の変形挙動を考える際、大気中でのコンクリートの力学特性を適用していた。しかし、コンクリート構造物を水深数百メートルのような深海等に施工すると、構造物に作用する水圧はMPaオーダーとなるため、水中環境下における、コンクリート構造物の変形および力学的特性の解明が必要不可欠である。

一般に、コンクリートは多孔質透水性材料であり、水が直接コンクリート表面に作用すると、内部に発生する間隙水圧勾配によって細孔内に水の浸透現象が起こる。その結果、コンクリート骨格と内部空隙もしくはひび割れ内部の水が外力に抵抗をすることにより、この浸透現象は時にコンクリートの破壊を引き起こす事例が報告されている。

大深度静水圧下におけるコンクリートの圧縮および引張強度は、静水圧の作用時間が長く、そして静水圧の値が大きくなると強度が低下することを指摘するとともに、このような環境下に長期にわたって置かれたコンクリートが有効応力の原理に従うことも指摘した。しかし、静水圧環境下におけるRC部材の曲げ挙動

に及ぼす静水圧の影響評価も重要であるが、ほとんど実施されておらず、その詳細な解明が必要である。

そこで本研究では、RC梁部材の曲げ強度に及ぼすコンクリート内部の間隙水圧の影響評価を行うことを目的とし、大深度海洋下や地中下を模擬することを可能とする浸透劣化装置により各種静水圧が作用した状態における曲げ試験を実施した。

### 2. 実験概要

#### (1) 試験体概要

本研究におけるコンクリートの配合は表-1に示すように、水セメント比を60%とした。セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、細骨材(比重:2.61g/cm<sup>3</sup>)粗骨材(比重:2.66g/cm<sup>3</sup>,最大寸法:20mm)を使用した。

試験体概要を図-1に示すように640×250×100の形状寸法とした。試験体のスパンは600mm、鉄筋のコンクリート部への定着は、厚さ10mmのプレートを付けて鉄筋ねじ切り加工をした箇所を六角ナットで固定した。鉄筋はD16(SD295)を使用した。コンクリートの設計基準強度、設計曲げ耐力、設計せん断耐力を表-2に理論値として示す。本実験では曲げ破壊先行型とした。

鉄筋は図-2に示すように21枚のひずみゲージ<sup>1)</sup>とステンレスパイプを設置した。使用した鉄筋は、貼り合わせ鉄筋D16を用い、1つの試験体に対し鉄筋の長さは740mmとした。貼り合わせ鉄筋の間には直径4mm程度の穴があいているものを用いた。この穴はステンレスパイプを通すためのものである。このステンレスパイプで試験体中の間隙水圧を測定する。

モールドゲージの設置位置は図-3に示すように、鉄筋から1cm離れた箇所とした。コンクリート上縁から2cm, 4cm, 7cmの箇所を設置した。

表-1 コンクリートの配合表

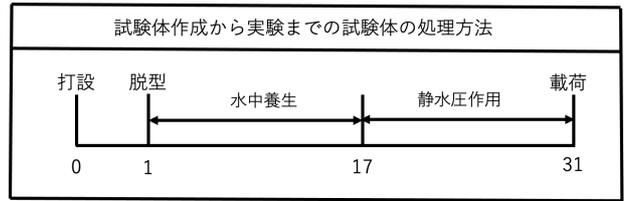
G <sub>max</sub> (mm)	スランプ(cm)	空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
20	12	5	60	43.1	175	292	783	1014	2.92

表-2 理論値

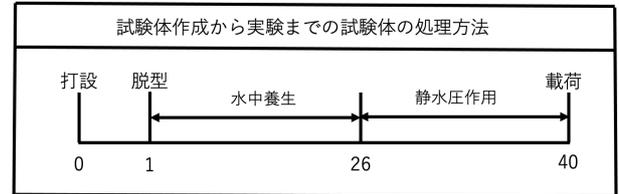
設計基準強度 ( $N/mm^2$ )	設計曲げ耐力 (kN)	設計せん断耐力 (kN)
23	23.16	30.29

表-3 実験パラメータ

試験体名称	水中養生日数	静水圧 (MPa)	静水圧載荷日数
S-14-0.0	17	0.0	14
S-14-0.7	17	0.7	14
S-14-1.4	17	1.4	14
S-21-1.4	26	1.4	14



(a) 試験体S-14-0.0, S-14-0.7, S-14-1.4の処理方法



(b) 試験体S-21-1.4の処理方法

図-4 試験体処理方法

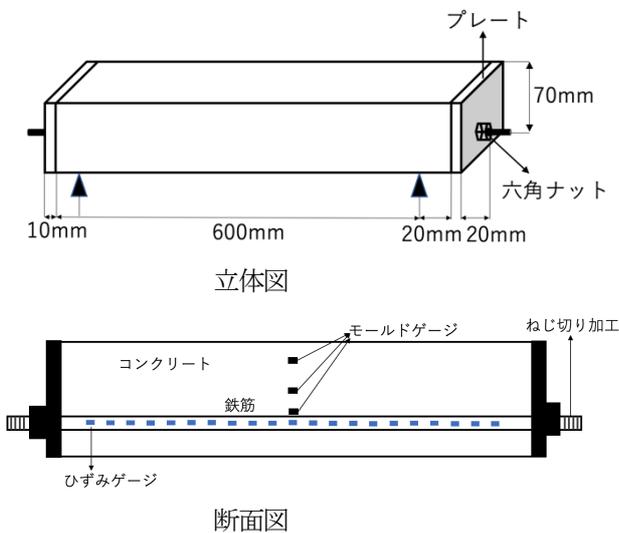


図-1 試験体概要

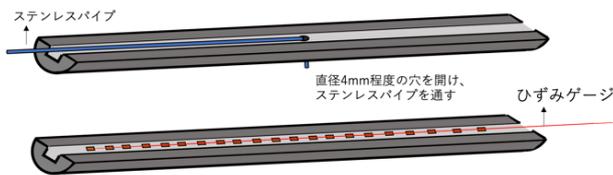


図-2 鉄筋概要

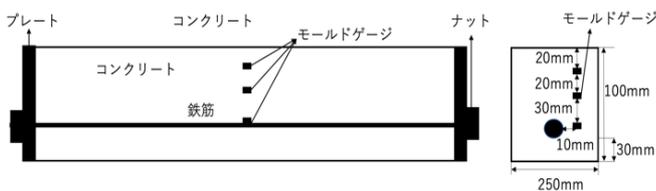


図-3 モールドゲージ概要

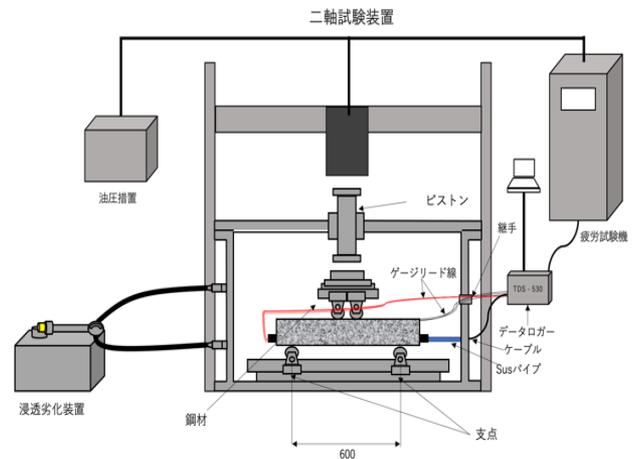


図-5 実験装置概要

## (2) 実験パラメータ

実験パラメータは、表-3に示すように水中養生日数、静水圧(MPa)とその作用時間とした。なお、静水圧載荷日数は、青木ら<sup>2)</sup>、森本ら<sup>3)</sup>の研究により得られたコンクリートの透水係数に基づいて設定した。

## (3) 実験装置

静水圧環境下を模擬するために用いた浸透劣化装置の概要は図-5に示す通りである。本装置は定吐出型水源により水槽内に最大1MPaの水圧を持続させた状態で静的試験および疲労試験の実施が可能である。本装置を疲労試験機内に設置し、水槽内に曲げ治具コンクリート供試体を設置する。この状態においてピストンに荷重を載荷することにより水槽内の供試体に荷重を載荷することが可能である。また、水槽の側面に水の排出口、ひずみゲージ等のコード取り付け口、水圧計を取り付けている。

曲げ試験時には水圧槽内にある試験体のステンレスパ

パイプと水圧槽外にある間隙水圧測定器を水圧槽に円盤状の継手を取り付けて繋ぐ。

計測項目は作用水圧，間隙水圧，荷重，変位，ひずみである。

#### (4) 実験方法

図-2に示した鉄筋内部に配置したパイプにより鉄筋とコンクリート界面の間隙水圧性状を測定するためには，パイプ内部を完全に水で満たすことが重要である。そのための手法は，パイプにゲージ管を入れて，引き抜きながら水を入れる。水が満たれてきたら終了した。

間隙水圧の計測は，外径 2mm，内径 1mmのステンレスパイプを用いて計測する。貼り合わせ鉄筋の中央部にΦ4mmの穴を開け，その穴を通じてステンレスパイプの先端が鉄筋表面に位置するようにする。ステンレスパイプ先端と穴との隙間には，エポキシ樹脂接着剤で埋めた。

試験体の処理方法は図-4に示すように，材齢31日と材齢40日の鉄筋コンクリートを水槽内に静置して，静水圧を14日に渡って持続的に作用させた後に曲げ荷重実験を実施する。曲げ荷重試験の荷重速度は 1mm/minである。

#### (5) 圧縮強度

圧縮強度試験を行い，その圧縮強度を用いて試験体 S-14-0.0 と試験体 S-14-0.7 の曲げ荷重とせん断荷重の計算値を表-4に示す。

### 3. 静水圧荷重による変形挙動

#### (1) 間隙水圧性状

図-6は，試験体S-14-0.7における間隙水圧を示している。コンクリートの透水係数がとんとん大きくなるため，水がステンレスパイプまで十分に浸透されていない。曲げ荷重試験までの計測値は0.05MPaである。

#### (2) ひずみ性状

図-7および図-8は，それぞれ試験体S-14-0.7における静水圧作用時のコンクリートひずみと鉄筋ひずみを示している。静水圧を荷重に伴って，収縮挙動が起こる。その後，ひずみは徐々に膨張方向に変位していることが確認された。これは外部からコンクリート内部への水浸透現象により生じる間隙水圧の作用により，供試体内部で膨張方向に変位が起こるものと考えられる。

表-4 圧縮試験結果

試験体名称	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ荷重 (kN)	せん断荷重 (kN)
S-14-0.0	30.9	23.7	33.4
S-14-0.7	30.8	23.7	33.4

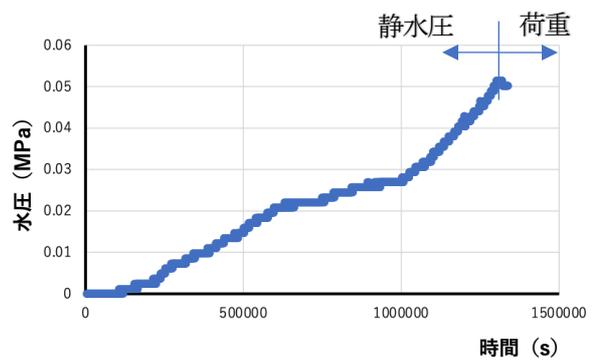


図-6 静水圧下に14日時間静置した時の間隙水圧の変化 (S-14-0.7)

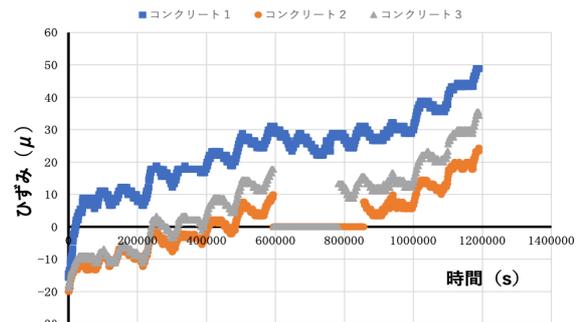


図-7 静水圧下に14日時間静置した時のコンクリートひずみ (S-14-0.7)

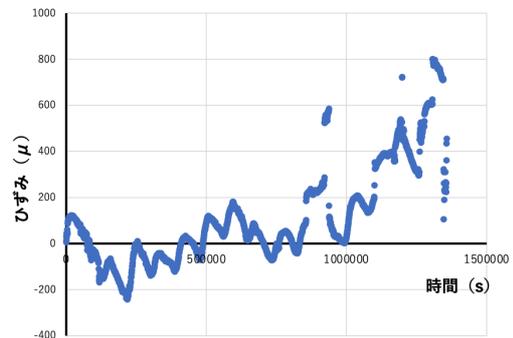


図-8 静水圧下に14日時間静置した時の鉄筋ひずみ (S-14-0.7)

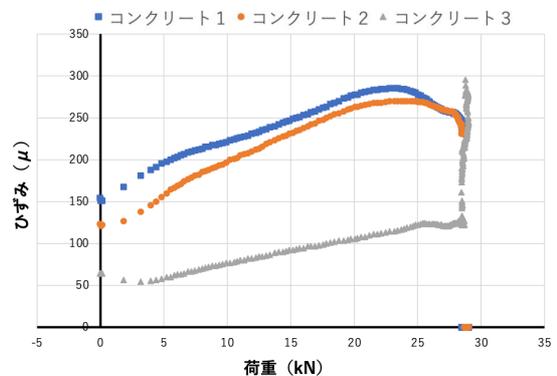


図-9 コンクリートひずみ (S-14-0.0)

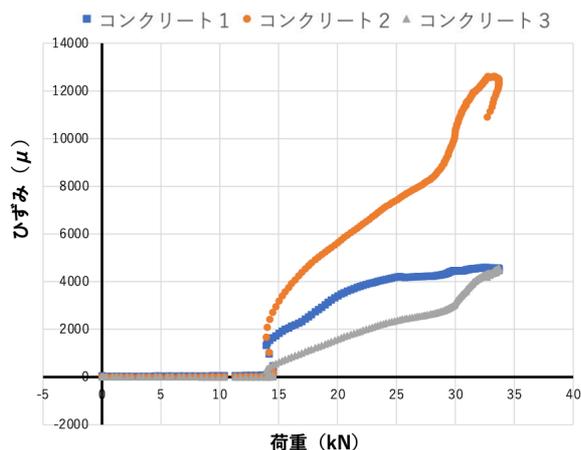


図-10 コンクリートひずみ (S-14-0.7)

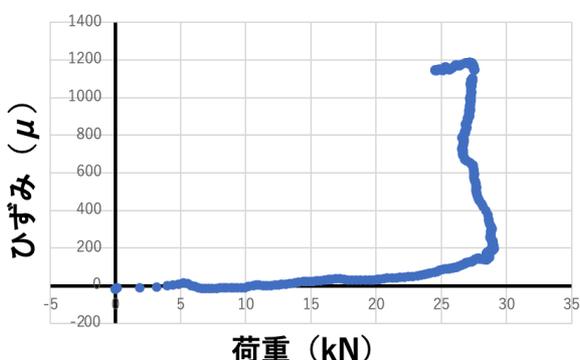


図-11 鉄筋ひずみ (S-14-0.0)

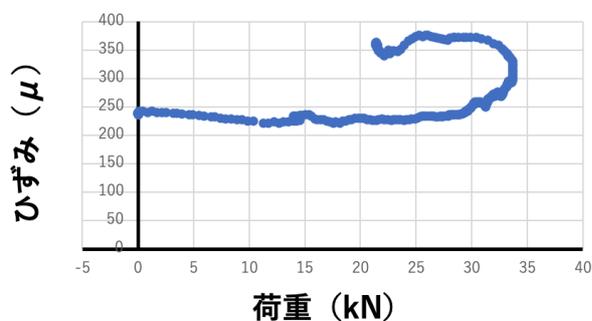


図-12 鉄筋ひずみ (S-14-0.7)

#### 4. 荷重載荷による変形挙動

##### (1) 間隙水圧性状

試験体S-14-0.7の場合、荷重の載荷により図-6に示したように間隙水圧はほぼ一定値のままである。試験体内部の微細空隙まで水の浸透がほとんど生じないため、間隙水圧と外部水圧に大きな差異を生じ、この差異が載荷時の試験体の変形を拘束することになる。したがって、静水圧が大きくなるほど強度が大きくなるものと考えられる。

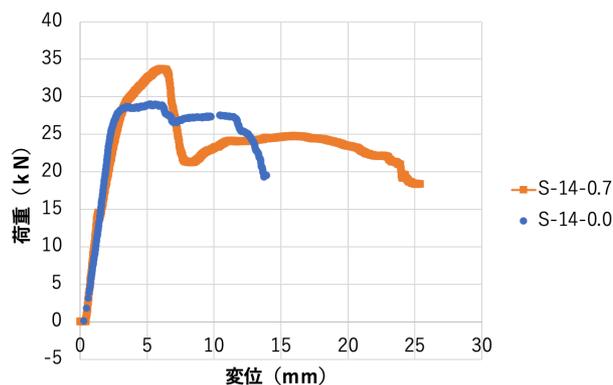


図-13 荷重～変位曲線

##### (2) ひずみ性状

図-9、図-10は、試験体S-14-0.0と試験体S-14-0.7が曲げ載荷試験により得られたコンクリートひずみ関係であり、図-11と図-12は各試験体における鉄筋ひずみ関係である。コンクリートひずみおよび鉄筋ひずみは拘束効果の要因でひずみが減少しているものと考えられる。

##### (3) 荷重と変位

図-13 は荷重と変位の関係を示している。静水圧環境下における RC 梁部材の曲げ強度は静水圧がないものに比べて大きい。これは、静水圧による拘束効果の影響によるものである。また、静水圧が無い試験体 S-14-0.0 では、変位が約 13mm の時点で荷重が急激に低下するという脆性的な挙動を示している。一方、静水圧を作用させた試験体 S-14-0.7 では延性的な挙動を示しており、これに関しても静水圧による拘束効果によるものである。

#### 5. 今後の課題

試験体S-14-1.4と試験体S-21-1.4は曲げ載荷実験試験を実施することとし、静水圧の大きさによる分離圧の影響と養生時間の違いによる緻密度の影響で曲げ強度特性の変化について評価する。

##### 参考文献

- 1) 木村健, 劉兆涛, 一ノ瀬晴幸, 大下英吉; コンクリートの力学特性に及ぼす微細空隙内部の水圧性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002
- 2) 青木秀行, 村上祐貴, 大下英吉: 水セメント比の違いによる鉄筋近傍の透水性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, 2002
- 3) 森本康照, 小野貴史, 大下英吉: コンクリート内部に存在する鉄筋とコンクリート界面における統一的水係数の構築, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003