

静水圧環境下におけるRC部材の変形挙動に関する研究

A study on deformation behavior of RC members under hydrostatic pressure environment

22N3100046L 畠山 大輝 (コンクリート研究室)
Daiki HATAKEYAMA/ Concrete Lab.

Key Words : hydrostatic pressure, shear failure, bond stress, separation pressure

1. はじめ

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等が挙げられる。これらのコンクリート構造物においては水圧が常時荷重としてコンクリート表面に直接作用する。また、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、コンクリート内部に水の浸透現象が生じていない場合は、静水圧による拘束効果の影響でコンクリートの圧縮強度が上昇することが知られている。一方、コンクリート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生じた場合、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強度低下を引き起こすことが知られている。また、静水圧荷重によるコンクリート内部への水の浸透現象によって鉄筋とコンクリートの界面に間隙水圧が生じた場合、付着劣化が生じて付着応力が低下することが分かっている。

そこで本研究では、静水圧環境の模擬が可能である浸透劣化装置を用いて、各種静水圧下におけるRC部材の変形挙動に及ぼす静水圧の影響の評価を行うことを目的として荷重載荷試験を実施した

2. 実験概要

(1) 試験体

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70%とした。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、川砂(比重:2.68g/cm³) 碎石(比重:2.71g/cm³, 最大寸法:20mm)を使用した。

表-1 配合表

Gmax (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	AE減水剤
20	10	5	70	46	174	248	859	1020	1.17

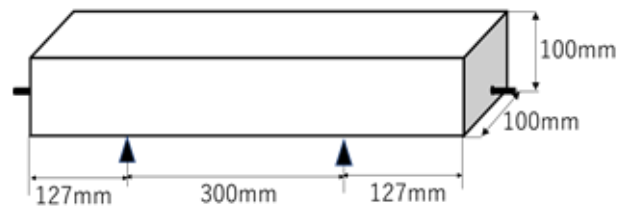


図-1 試験体寸法

試験体の形状寸法は図-1に示すように、100×100×554mmの角柱形状であり、試験体の下縁から30mmの位置にD13(SD295A)異形鉄筋が配筋されている。なお、定着長は示方書に準じた127mmとした。また、試験体は、設計基準強度30N/mm²、設計曲げ耐力72.9KN、設計せん断耐力30.6KNのせん断破壊先行型とした。

(2) 実験パラメータ

実験パラメータを表-2に示す。作用静水圧は0MPa、0.5MPa、0.8MPaであり、作用時間は鉄筋とコンクリートの界面に水の浸透現象が生じるための各所定の時間とした。

(3) 測定項目

測定項目は、荷重、変位、水槽内の圧力、鉄筋とコンクリートの界面における間隙水圧および鉄筋のひずみである。

鉄筋のひずみ測定方法であるが、使用した鉄筋は図-2に示すように鉄筋を軸方向に切断した2対の鉄筋片断面に2×4mmの溝を掘ったものであり、その溝に30mmの間隔で貼付したひずみゲージを使用して計測する。なお、ひずみゲージは支点間隔300mmの間に計11枚貼付した。

鉄筋とコンクリート界面における間隙水圧の測定は、上述した鉄筋の溝に内部を水で充填したステンレスパイプの先端を鉄筋表面(鉄筋とコンクリート界面)に設置することで実施した。パイプの先端には、コンクリートによる目づまりを防ぐために綿栓を設置した。

表-2 実験パラメータ

	養生期間 (日)	載荷水圧 (MPa)	載荷日数 (日)
case1	28	0	0
case2	28	0.5	0
case3	28	0.8	0
case4	28	0.5	12
case5	28	0.8	8

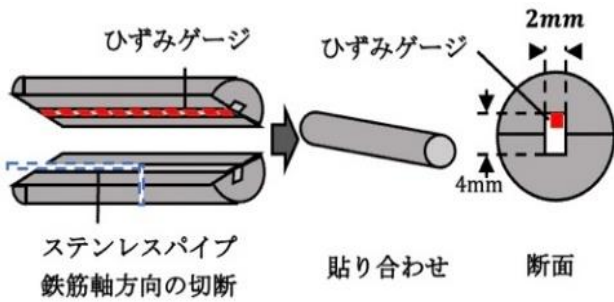


図-2 鉄筋概要

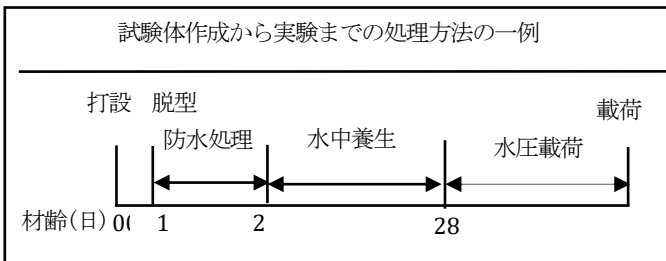


図-3 試験体処理方法

(4) 試験体処理方法

試験体の処理方法を図-3に示す。試験体は打設後24時間の時点で脱型した後、ひずみゲージへの防水処理を施すため、打設後48時間の時点で水中養生を行った。その後、所定の期間静水圧を作用させ、荷重載荷試験を行った。試験体case1は静水圧を作用させない状態で、26日間の水中養生を行った後、荷重載荷試験を行った。

(5) 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および疲労試験機の概要を図-4に示す。本装置は定吐出型水源により水槽内に最大1MPaの水圧を持続的に作用させた状態において、載荷試験が可能である。水槽内に曲げ治具と試験体を設置し、疲労試験機のピストンによって荷重を載荷することにより水槽内の試験体に荷重を載荷することが可能となる。

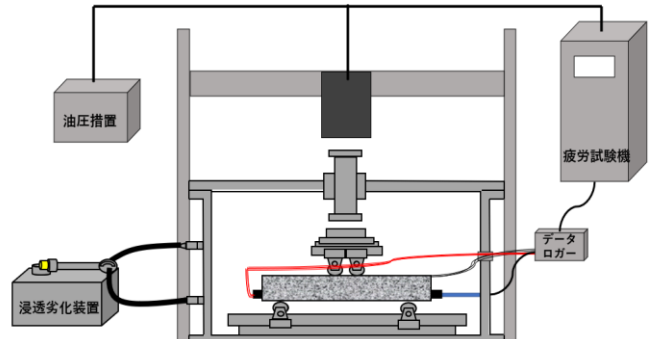


図-4 試験機概要

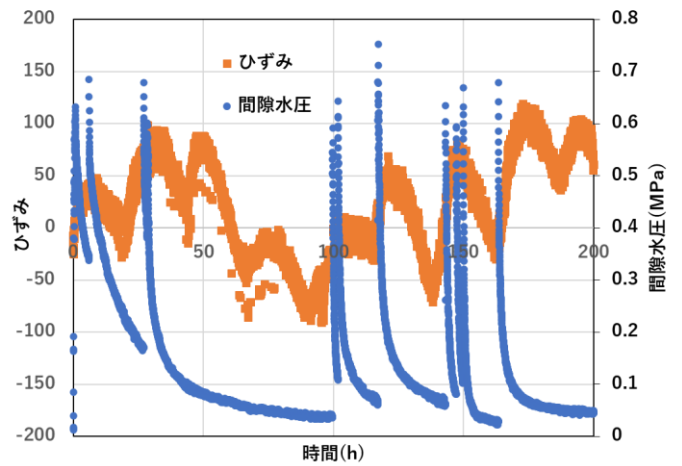


図-5 間隙水圧、鉄筋ひずみ関係

3 実験結果

(1) 静水圧載荷による鉄筋ひずみと間隙水圧性状

本節では、水中養生を行った後、所定の静水圧を作用させた状態における鉄筋ひずみと間隙水圧性状を議論する。試験体case4における水圧載荷中の間隙水圧性状、ひずみ性状を図-5に示す。

静水圧が載荷された直後は圧縮ひずみが急激に増加し、内部に水が浸透するにつれて、徐々に引張ひずみが増加する傾向にある。これは、静水圧の影響で試験体全体が圧縮され、それにより鉄筋が圧縮したためである。鉄筋界面の間隙水圧の値が所定の水圧に達しなくとも、ある程度の水圧が界面に浸透する。その影響で鉄筋全体が引っ張られると考えられる。

また、間隙水圧の値が上昇と低下を繰り返している。これは、水圧制御に手動の加圧機を使用しており水槽からの漏水が発生した際、一定時間で水圧が低下してしまうため、その都度加圧を繰り返したものである。加圧操作を行うことで引張ひずみが直ちに増加しており、鉄筋とコンクリートの界面に間隙水圧が分離圧として作用していると考えられる。

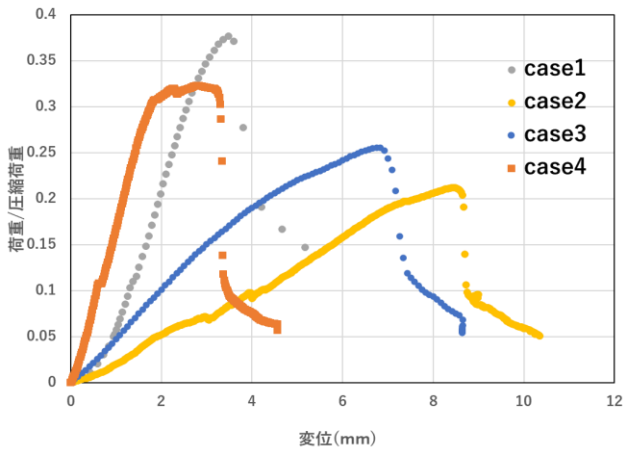


図-6 荷重－変位関係

(2) 荷重－変位関係

各試験体における荷重－変位関係を図-6に示す。縦軸は試験体強度のばらつきを考慮し、コンクリートの一軸圧縮荷重で無次元化した値とした。Case1, Case2, Case3の一軸圧縮荷重は192.9kN, Case4では222.5kNである。

Case1の作用静水圧が0MPaの水圧を作用させない試験体は最大荷重が72.7kNのせん断ひび割れを生じた後、鉄筋の抜け出しによる破壊が生じた。Case2, Case3の静水圧を作用させた試験体では、Case1と同様なせん断ひび割れを生じた後、鉄筋の抜け出しによる破壊が生じたが最大荷重はCase1に比べていずれも小さくなった。これは所定の静水圧を作用させることにより、鉄筋とコンクリートの界面に分離圧として作用することで付着劣化が生じ、Case1に比べて小さい荷重で鉄筋の抜け出しによる破壊が生じたと考えられる。

Case4は12日間静水圧を作用させた試験体であるが、前述のCase2, Case3の水圧作用時間が0時間の試験体と比べて若干ではあるが大きな最大荷重を示し、せん断破壊を生じた。

(3) ひずみ分布

各試験体における、所定の荷重下におけるひずみ分布を図-7に示す。横軸は支点上の鉄筋に貼付したひずみゲージを0mmとして、もう一方の支点までひずみゲージを貼付した箇所を示している。

Case1, Case2, Case3のいずれの試験体も支点上から0～100mmの箇所にせん断ひび割れが発生しており、Case1の作用静水圧が0MPaの水圧を作用させない試験体は図-7(a)に示すようにひずみが1500 μ を超えるような値となった。一方、Case2, Case3の静水圧を作用させた試験体では、同図(b), (c)に示すようにひずみがいずれの箇所も1500 μ を下回っており、若干ではあるがCase1と比べて鉄筋ひずみが小さくなっている。これは、最大荷重が小さいことに加えて、作用させた所定の静水圧による影響でひずみが拘束されたものと考えられる。

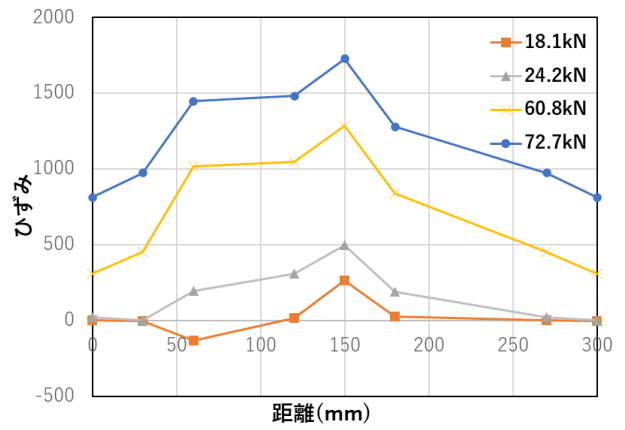


図-7(a) Case1 ひずみ分布

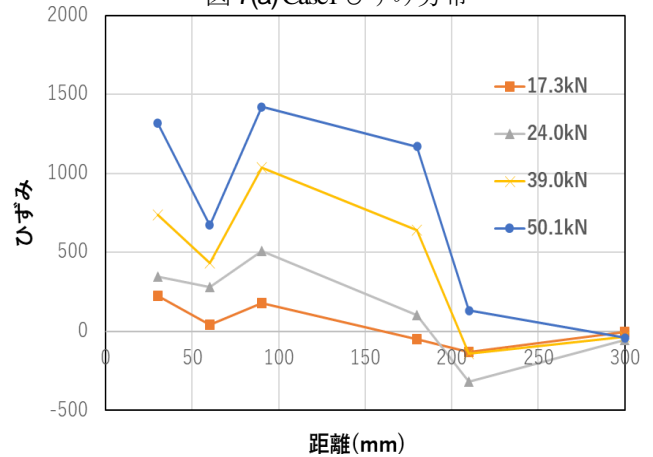


図-7(b) Case2 ひずみ分布

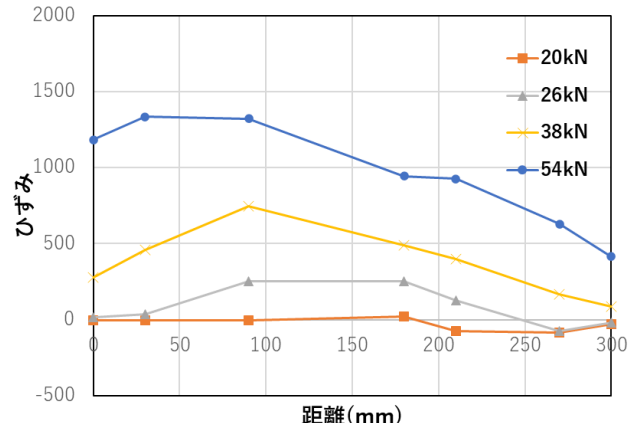


図-7(c) Case3 ひずみ分布

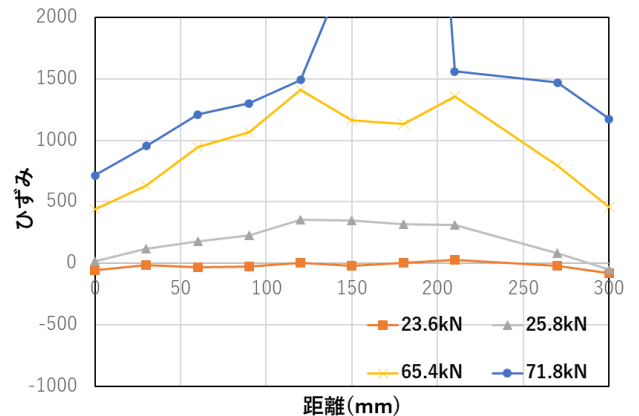


図-7(d) Case4 ひずみ分布

Case4の12日間静水圧を作用させた試験体は、図-7(d)に示すように支点から180mmの位置で曲げひび割れが発生したことにより7000 μ を超える値が計測された。

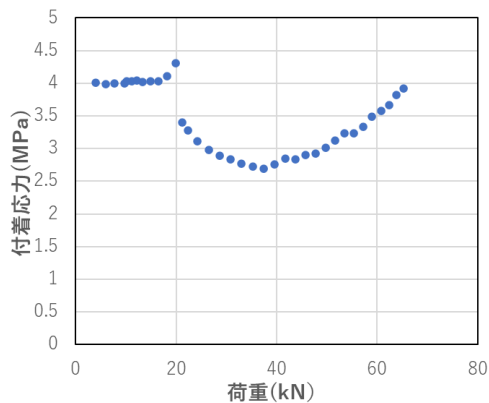


図-8(a)試験体 Case1

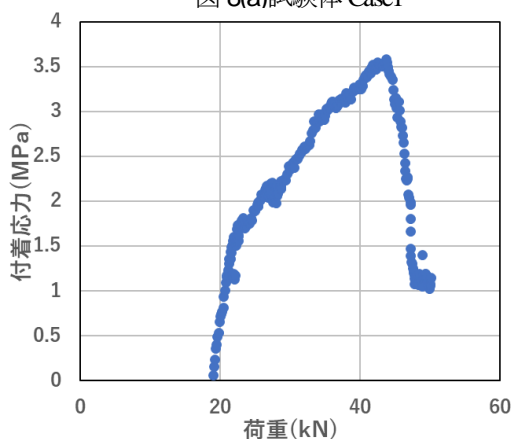


図-8(b)試験体 Case2

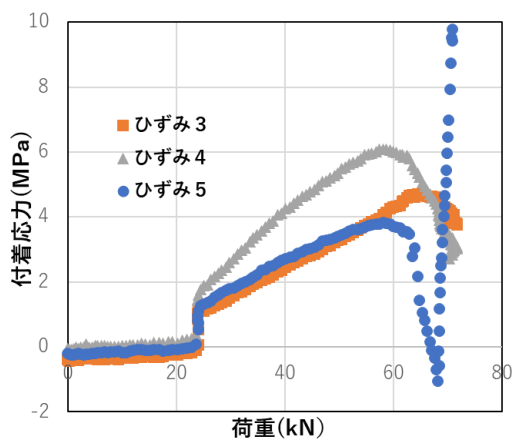


図-8(c)試験体 Case4

(4) 付着応力

各試験体における荷重載荷試験中の鉄筋とコンクリートの付着応力と載荷荷重の関係を図-8に示す。鉄筋軸に沿った鉄筋の付着応力分布は着目するひずみ計測点および、その両側のひずみ計測点の計3点を通るひずみの2次曲線を用いた。

図-8(a)にCase1の作用静水圧を作用させない試験体の付着応力を示す。荷重載荷試験開始直後は一定の付着

応力を有しており、載荷荷重が増加するに連れて一旦は付着応力の低下が見られたが試験終了まで付着応力を有した状態であった。これは静水圧を作用させていないためコンクリート内部への水の浸透現象は生じず、付着応力が維持され続けたものと考えられる。

一方、同図(b)に示すように所定の静水圧を作用させた試験体では、載荷試験開始直後では、ひずみ分布から付着応力を得られていないが、その後載荷荷重が増加するに連れて付着応力も増加していった。しかしながら、載荷荷重が40kNを超えた付近で付着応力が急激に低下している。これは荷重載荷によって生じたひび割れから水分が侵入し、分離圧として作用したことで急激な付着応力の低下が発生したものである。これにより、Case2の試験体の最大荷重がCase1と比べて低下したと考えられる。Case3の付着応力であるが、ひずみゲージの不具合により得られていない。

同図(c)は、静水圧を所定の期間作用させたCase4の試験体である。荷重載荷開始時から60kN付近まではCase2と同様な傾向を示した。その後もひずみ3、ひずみ4に関してはCase2と同様に急激な付着応力の低下が生じている。しかしながら、ひずみ5では、一旦は付着応力の低下が生じた後、最大荷重時に達するまで再び付着応力が上昇した。

4. まとめ

本研究では静水圧環境下における鉄筋コンクリートの強度特性への影響評価を行うことを目的に各種静水圧環境下で強度試験を実施し、0時間静置を行った後に載荷試験を行った場合と所定の期間静置した後に載荷試験を行った場合を比較することで静水圧がコンクリートの力学的特性に与える影響について評価した。本実験結果から明らかになったことを以下にまとめる。

- (1) 鉄筋ひずみは鉄筋界面に水圧が作用し始めると、圧縮され、その後引張に転じる。
- (2) 静水圧環境下に短時間静置した試験体の荷重載荷時のひずみ分布はコンクリート内部の空隙に水分がないものと比べると、若干小さくなる。
- (3) 静水圧環境下におけるRC部材の強度特性として付着応力の低下が挙げられ、それに伴い最大荷重が低下する。

参考文献

- 1) 島弘, 山本恭史: 腐食した鉄筋の局所応力 局所すべり関係, コンクリート工学年次論文集, vol.13, No.1, pp.663-668, 1991.
- 2) 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,