

論文 地震によるコンクリート水路の目地部損傷の発生メカニズムに関する研究

森 丈久*¹・森 充広*²・渡嘉敷 勝*³・奥野 倫太郎*⁴

要旨：平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震では、現場打ちコンクリート水路において、目地部のコンクリートの剥落や止水板の端部から伸びるひび割れが多数確認された。水路の目地部を模擬した供試体を用いて破壊試験を実施した結果、地震により水路縦断方向に止水板が圧縮されると、止水板端部が横方向にふくれるように変形しようとする力が生じ、止水板端部に接する部分のコンクリートに伸び限界ひずみを超える引張ひずみが生じてひび割れが発生することが明らかとなった。

キーワード：地震，コンクリート水路，目地，止水板，ひび割れ，破壊試験

1. はじめに

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震における農業用水路の被害調査の結果、図 - 1 に示すような現場打ちコンクリート水路において目地部に損傷が集中している被害状況が明らかとなった¹⁾。目地部の損傷形態の大部分は、写真 - 1 や写真 - 2 に示すようなコンクリートの剥落や、写真 - 3 に示す止水板の端部から伸びるひび割れであった。目地部の損傷が確認された水路には、伸縮目地材と止水板（150mm × 5mm）が 5m 間隔で設置されていた。

目地部が損傷した水路の中には、写真 - 4 に示すような水路躯体そのものが水路縦断方向に動いたと思われる痕跡を残すものがあったことから、地震発生時に水路躯体が縦断方向に動いたことにより目地部が急激に圧縮されて、目地部のコンクリートが損傷したと推察された。目地部損傷の発生メカニズムを解明するため、筆者らが、コンクリート水路の目地部を模擬した供試体を用いて圧縮試験機による静的載荷試験を実施したところ、現地水路と同様に止水板端部から伸びるひび割れが発生することを確認した。このとき、止水板で二分されている部分が、外側に拡がるように変位することが明らかとなり、目地部の損傷に止水板が影響していることが推

察された²⁾。しかし、先の破壊試験では、止水板近傍のコンクリートの挙動のみを計測対象にしていたことから、ひび割れ発生に至るまでの、止水板端部や止水板に接するコンクリートにおけるひずみの状況は明らかとなっていない。

そこで本研究では、ひび割れ発生に至るまでの止水板端部や止水板周辺コンクリートのひずみの発生状況や供試体の挙動をより詳細に計測することを目的として、水路の目地部を模擬した供試体（先の破壊試験時と同じ規格）を作製して圧縮試験機による破壊試験の追試を行い、埋込式の止水板がコンクリート躯体の損傷に与える影響について検証した。

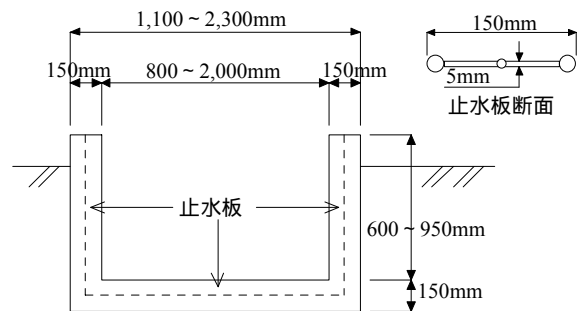


図 - 1 目地部が損傷したコンクリート水路および止水板の標準的な形状



写真 - 1 目地部のコンクリートの剥落



写真 - 2 コンクリートの連続した剥落



写真 - 3 止水板端部から伸びるひび割れ



写真 - 4 水路の突出による分水柵の破損

*1 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所地域資源保全管理研究チーム上席研究員（正会員）

*2 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所水利施設機能研究室主任研究員 博士（農学）（正会員）

*3 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所水利施設機能研究室主任研究員（正会員）

*4 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所水利施設機能研究室講習生（日本基礎技術（株））（正会員）

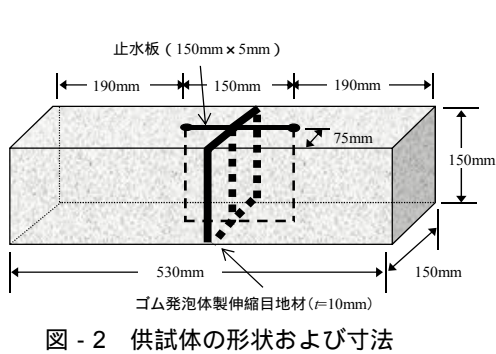


図 - 2 供試体の形状および寸法

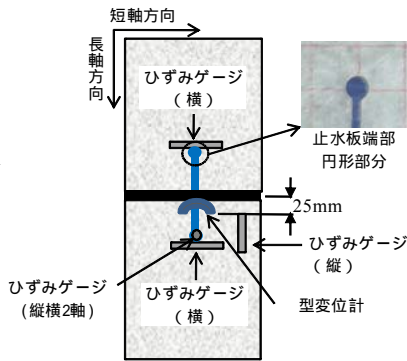


図 - 3 ひずみゲージ等の配置状況

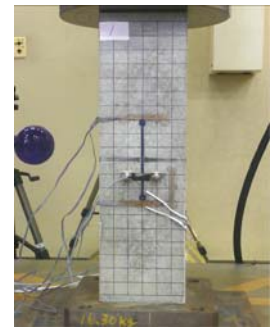


写真 - 5 破壊試験の状況

表 - 1 止水板と目地材の物性値

| 材質 | 止水板 軟質塩化ビニル樹脂 | 目地材 エラスチックファイラー |
|--------------------------|------------------|--------------------|
| 引張強さ(N/mm ²) | 14.7 | 0.98 |
| 伸び(%) | 320 | 200 |

表 - 2 供試体のコンクリート配合

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランブ (cm) | 水セメント比 W/C (%) | 空気量 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | |
|------------------|--------------|----------------------|------------|-------------|-------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 F |
| 20 | 8 | 60 | 5 | 44.3 | 165 | 275 | 810 | 1,030 | 0.688 |

2. 破壊試験の実施

2.1 供試体

供試体は、図 - 2 に示すように、曲げ試験用の供試体をもとにして作製した 150×150×530 (mm) の直方体であり、中央部に止水板と伸縮目地材を設置した。止水板は軟質塩化ビニル製 (JIS 記号 FF-F150×5mm)、伸縮目地材はゴム発泡体製 (t=10mm) で、どちらも新潟県中越沖地震で被災した水路に設置されていたものと同品目の材料である。止水板と目地材の物性値を表 - 1 に示す。供試体のコンクリートは表 - 2 に示す配合とし、普通ポルトランドセメントを使用した。円柱供試体 (100mm×h200mm) を用いた材齢 28 日の圧縮強度は、3 体の平均値が 31.8 N/mm² であった。本試験では、同一配合、同一規格で供試体 1 から供試体 4 までの合計 4 体を作製し、材齢 32 日目に全ての供試体について破壊試験を実施した。なお、破壊試験時の材齢におけるコンクリート圧縮強度の測定は行っていない。

2.2 破壊試験の方法

破壊試験は、圧縮試験機 (インストロンジャパン Fast Track 8800) を使用して長軸方向の力を加えることにより、地震発生時の現地水路において目地部が両側の躯体側壁から圧縮される状況を模擬した。図 - 3 にひずみゲージおよび型変位計の設置状況を示す。止水板端部に接したコンクリート部分の短軸方向のひずみを計測するためにひずみゲージ (1 軸計測, 検長 60mm) を表裏上下合わせて 4 か所、供試体コンクリートの長軸方向のひずみを計測するため表側下部に 1 か所設置した。また、止水板端部円形部分 (コンクリート硬化後の止水効果を確保するための形状) のひずみを計測するため、表側下部に縦横 2 軸計測タイプのひずみゲージ (検長 縦横各 2mm) を 1 か所設置した。さらに、止水板で二分されて

いる部分の短軸方向の変位を計測するため、表側下部に型変位計 (検長 50mm) を、目地中心から 25mm 下の位置に 1 か所設置した。なお、ここでは、型変位計を設置した面を「表側」、その反対側を「裏側」と呼ぶ。本試験では止水板付近の挙動を確認できるように、荷重制御により載荷速度を 0.1N/mm²/s として行った。破壊試験の状況を写真 - 5 に示す。

3. 試験結果および考察

3.1 試験中および試験後のひび割れ発生状況

試験中のひび割れの発生状況および試験後の破壊状況を写真 - 6 ~ 写真 - 13 に示す。なお、写真 - 6, 8, 10, 12 における圧縮荷重は、目視でひび割れを確認できた時点の値であり、圧縮試験機の荷重表示の読み上げにより確認したため、幅を持った概略の値となっている。

写真 - 6 は供試体 1 の裏側における載荷途中の状況を示しており、上部および下部ともに、すでに止水板端部から伸びるひび割れが確認できる。写真 - 7 は試験後の供試体 1 の表側の状況を示している。止水板端部から伸びるひび割れが明確になっており、止水板から離れた部分にも大きなひび割れが発生し、コンクリートが剥離しているところもある。

写真 - 8 は供試体 2 の裏側における載荷途中の状況を示しており、上部および下部ともに、すでに止水板端部から伸びるひび割れが確認できる。写真 - 9 は試験後の供試体 2 の表側の状況を示している。止水板端部から伸びるひび割れが明確になっており、供試体下部において部分的に粗骨材が露出し、剥落している。また、止水板先端の円形部分が横方向につぶれており、止水板全体が波形にうねるように曲がっている。

写真 - 10 は供試体 3 における裏側下部の載荷途中の

状況を示しており、止水板端部から伸びるひび割れが確認できる。写真 - 11 は試験後の供試体 3 の状況を示しており、止水板を挟んで斜めに大きくひび割れが発生し、止水板がうねるように曲がっている。

写真 - 12 は供試体 4 における裏側上部の載荷途中の状況を示しており、止水板端部から伸びるひび割れが確認できる。写真 - 13 は試験後の供試体 4 の状況を示している。止水板から伸びるひび割れが顕著になっており、

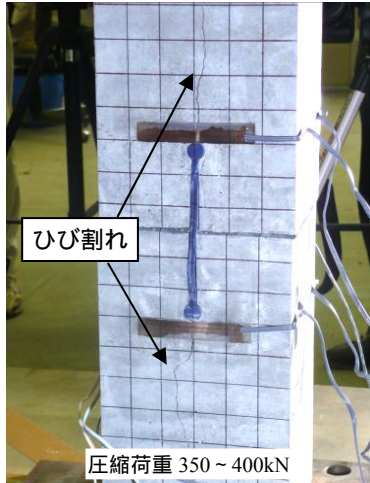


写真 - 6 供試体 1 の載荷途中のひび割れ発生状況



写真 - 7 供試体 1 の試験後の破損状況

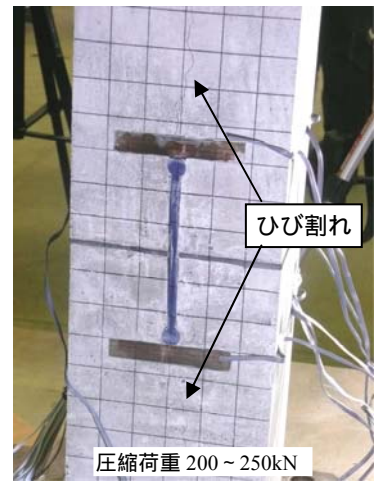


写真 - 8 供試体 2 の載荷途中のひび割れ発生状況



写真 - 9 供試体 2 の試験後の破損状況

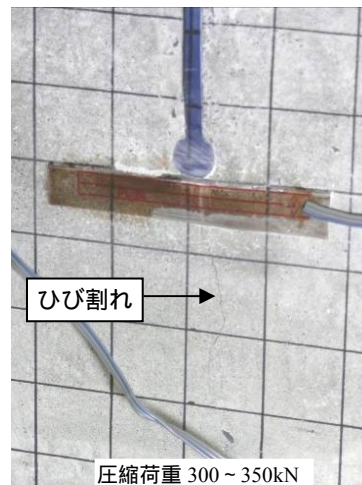


写真 - 10 供試体 3 の載荷途中のひび割れ発生状況

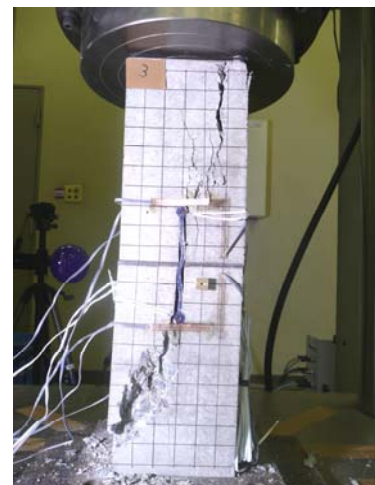


写真 - 11 供試体 3 の試験後の破損状況

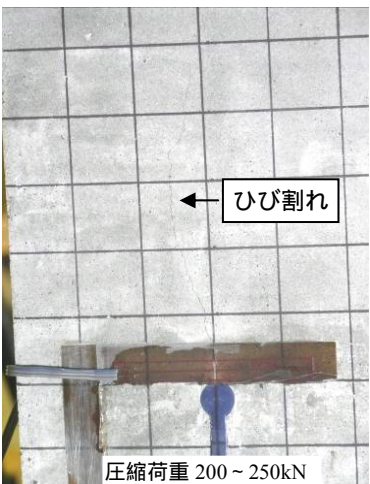


写真 - 12 供試体 4 の載荷途中のひび割れ発生状況



写真 - 13 供試体 4 の試験後の破損状況

表 - 3 最大圧縮荷重

| 供試体 | 最大荷重(kN) |
|------|----------|
| 供試体1 | 517.3 |
| 供試体2 | 579.0 |
| 供試体3 | 453.1 |
| 供試体4 | 514.9 |

上部左側が大きく損傷している。また、止水板がうねるように曲がっているのが分かる。

破壊試験における各供試体の最大圧縮荷重を表-3に示す。最大値と最小値で126kNの差があり、ばらついているが、4供試体の平均値は、516.1kNであった。ばらつきの原因としては、供試体がコンクリート、止水板、伸縮目地材からなる複合構造であり、構造自体がばらついていたことが考えられる。例えば、供試体は縦長の直方体であり、載荷荷重が偏心する可能性があるが、載荷面の平面度や載荷面と長軸方向軸線との角度などのばらつきから、供試体ごとに荷重の偏心の程度が異なることが想定される。この結果、供試体ごとに最大圧縮荷重のばらつきが生じたと考えられる。

3.2 コンクリートのひずみ挙動

圧縮荷重と供試体短軸方向および長軸方向のひずみの関係を図-4～図-7に示す。ここで、供試体短軸方向のひずみを「横ひずみ」、長軸方向のひずみを「縦ひずみ」と呼ぶ。ひずみの符号は、正が引張を、負が圧縮を表している。なお、図-5(供試体2)および図-6(供試体3)では、裏側上部横ひずみのデータが欠測になっている。

横ひずみは、すべての供試体において、いずれも荷重が20kN付近から急激に増大し、最大圧縮荷重の1/10以下の40kN付近ですでに1000 μ 程度に達している。一般的に、コンクリートの伸び限界ひずみは100～200 μ といわれているが³⁾、いずれの供試体においても、40kN程度で伸び限界ひずみの5～10倍もの引張ひずみが発生していることになる。このため、荷重が少なくとも40kNに達するまでに、ひび割れが発生した可能性が高い。

供試体1(図-4)では、表側上部や裏側上部の横ひずみは270kN付近までは緩やかに増大しているが、表側下部と裏側下部については、表側上部や裏側上部よりも、ひずみの増加の割合が大きくなっており、ひび割れ幅が拡大している可能性がある。さらに、270kN付近では、表裏の上下いずれの箇所においても横ひずみが瞬間的に4000～5000 μ 程度増加しており、このときにひび割れ幅が一挙に拡大した可能性が高い。

供試体2(図-5)では、表側上部が140kNと220kN付近で、表側下部と裏側下部が220kN付近でひずみの増加割合が上昇しており、それぞれの時点でひび割れ幅が拡大したと考えられる。

供試体3(図-6)および供試体4(図-7)においては、ひずみの増加割合が、供試体1や供試体2のように段階的に変化することもなく、ひずみが終局値に達するまでは、比較的緩やかに推移している。ただし、供試体4については、裏側上部のひずみが160kN付近で急激に増加しているが、他の箇所よりもかなり小さな荷重であ

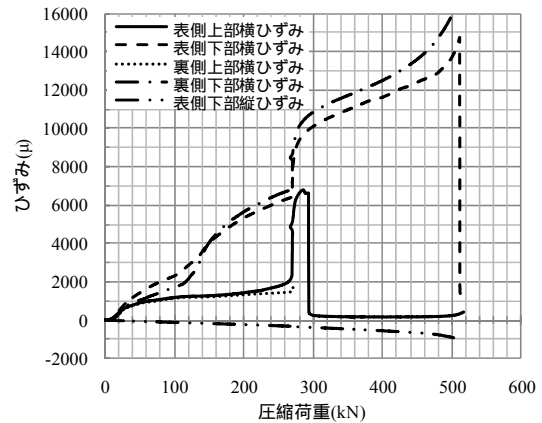


図-4 圧縮荷重とひずみの関係(供試体1)

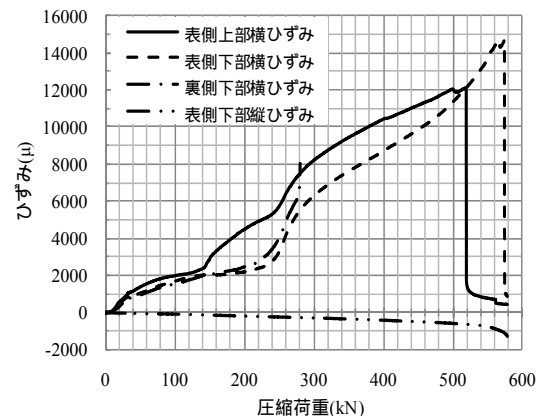


図-5 圧縮荷重とひずみの関係(供試体2)

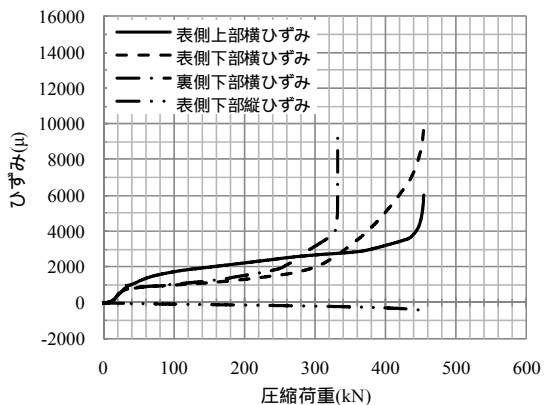


図-6 圧縮荷重とひずみの関係(供試体3)

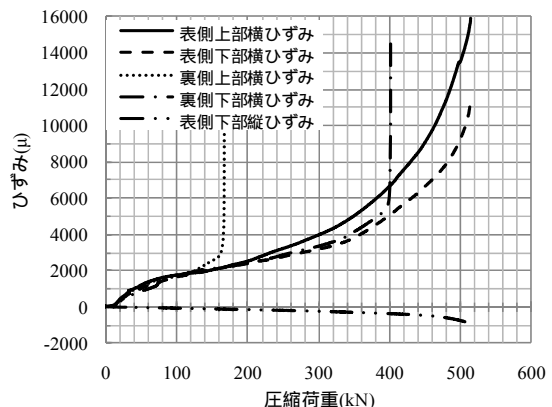


図-7 圧縮荷重とひずみの関係(供試体4)

るため、この時点でひずみゲージが供試体から剥離した可能性がある。

一方、縦ひずみについては、いずれの供試体においても、横ひずみと比較して、荷重に対する増加の割合が小さく、最大荷重に達する時点でも(-)1000 μ 程度である。

3.3 止水板端部のひずみとその他の計測器の挙動

次に圧縮荷重と止水板端部円形部分の縦横のひずみ、および止水板を挟んだ躯体短軸方向の変位の関係を図-8~図-11に示す。すべての供試体において、止水板端部の横ひずみが、荷重20kN付近から急激に増大し、30kN付近で1000~2000 μ に達している。また、止水板端部の縦ひずみについても、荷重20kN付近から急激に増大し、30kN付近で(-)2000 μ に達している。これは、止水板端部の円形部分が横方向につぶれるように変形していることを示している。このとき、図-4~図-7における供試体コンクリート部分の横ひずみも急激に増大しており、止水板の変形の影響を受けていることが分かる。

また、止水板端部のひずみには、急激に増加した後、一端減少している部分がある。例えば、図-8では220kN付近、図-9では40kN付近である。これは、止水板端部付近のコンクリートに発生したひび割れが、このとき拡大したため、止水板端部の応力が一時的に緩和されたことが考えられる。

さらに、図-8~図-11より、止水板を跨いで設置した型変位計の変位量は、図-4~図-7における表側下部および裏側下部の横ひずみの変化に呼応した動きを示していることが分かる。

図-12に供試体1における圧縮荷重と供試体長軸方向の変位の関係を示す。供試体長軸方向の変位は、圧縮試験機の上下載荷版の間隔の変化量を計測することにより算出している。載荷開始後、圧縮荷重が40kN付近に達するまでの早い段階で急激に8mm程度変位していることが分かる。この急激な変位は、供試体の中心部に設置された伸縮目地材の変位であると考えられる。このとき、止水板も供試体内に押し込まれるように供試体長軸方向に圧縮されるため、止水板端部やコンクリートに大きなひずみが発生したと考えられる。これは、伸縮目地材が供試体長軸方向に大きく変位している時期と、止水板端部円形部分のひずみが急激に増加している時期が、いずれも圧縮荷重が40kNに達する付近であることから分かる。

3.4 新潟県中越沖地震時に見られた目地部損傷の発生メカニズムに関する考察

実験によって明らかとなった地震によるコンクリート水路の目地部損傷の発生メカニズムを図-13に示す。地震によって目地部が水路縦断方向（供試体長軸方

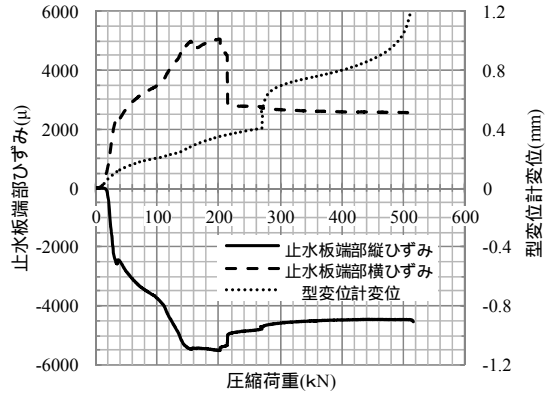


図-8 圧縮荷重と止水板端部のひずみおよび短軸方向変位の関係（供試体1）

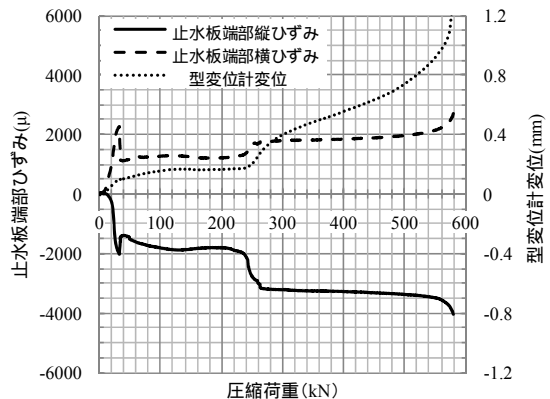


図-9 圧縮荷重と止水板端部のひずみおよび短軸方向変位の関係（供試体2）

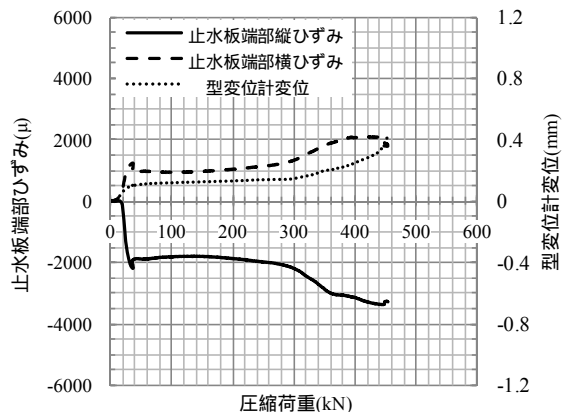


図-10 圧縮荷重と止水板端部のひずみおよび短軸方向変位の関係（供試体3）

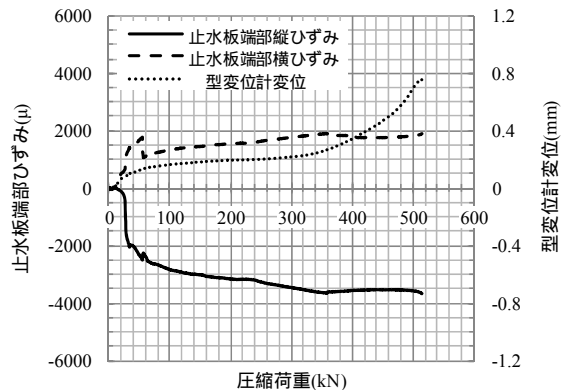


図-11 圧縮荷重と止水板端部のひずみおよび短軸方向変位の関係（供試体4）

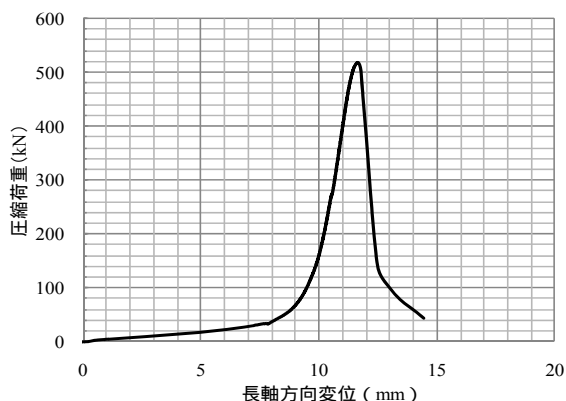


図 - 12 圧縮荷重と長軸方向変位との関係(供試体 1)

向)に圧縮されることにより、止水板も水路躯体(供試体)内に押し込まれるように圧縮されるため、止水板端部が横方向(供試体短軸方向)にふくれるように変形しようとする力が生じる。その結果、止水板端部付近のコンクリートに、伸び限界ひずみを超える引張ひずみが発生し、止水板端部から二股に裂けるようにひび割れが発生したものと推察される。

4. まとめ

本研究では、新潟県中越沖地震において見られた現場打ちコンクリート水路の目地部損傷の発生メカニズムを解明するため、目地部を模擬した供試体を作製し、圧縮試験機を用いて静的載荷による破壊試験を行った。その結果明らかとなった知見は、以下のとおりである。

- (1) 静的な圧縮試験においても、新潟県中越沖地震で見られた、止水板端部を基点とするひび割れが再現できる。
- (2) 供試体が圧壊する最大圧縮荷重の 1/10 以下の荷重で、コンクリートの伸び限界ひずみ(100 ~ 200 μ)の 5 ~ 10 倍にあたる引張ひずみが、止水板端部付近のコンクリートに発生する。
- (3) 止水板端部の横ひずみの増加に合わせて、止水板端部に接する部分のコンクリートの引張ひずみも増加しており、圧縮により止水板端部に生じる横ひずみが、ひび割れの発生に関与している。
- (4) ひび割れの発生原因として、供試体長軸方向に止水板が圧縮されることにより、止水板端部が供試

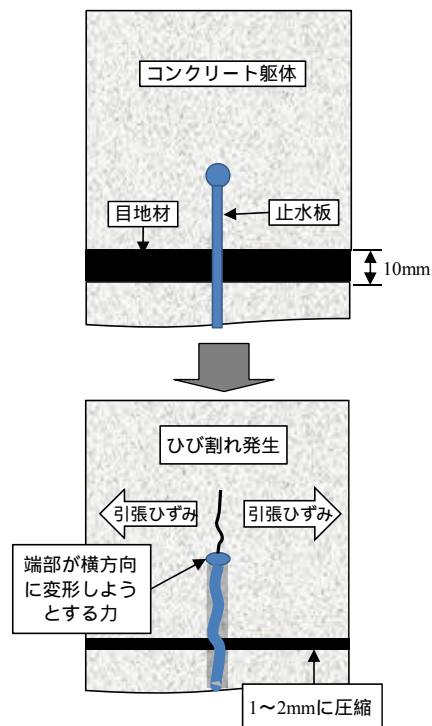


図 - 13 目地部損傷の発生メカニズム

体短軸方向にふくれるように変形しようとする力が生じ、止水板端部付近のコンクリートに伸び限界ひずみを超える引張ひずみが発生することが推察される。

参考文献

- 1) 森 丈久, 森 充広, 渡嘉敷 勝, 中矢哲郎: 大規模地震による農業用水路の被害実態に基づく耐震性評価に関する考察, 農業農村工学会誌, Vol. 76, No.2, pp.3-7, 2008.1
- 2) 森 丈久, 森 充広, 渡嘉敷 勝, 中矢哲郎: 新潟県中越沖地震における現場打ちコンクリート水路の目地部損傷メカニズム, 農業農村工学会論文集, Vol. 77, No. 6, pp.43-48, 2009.12
- 3) 日本コンクリート工学協会編: マスコンクリートのひびわれ制御指針, 日本コンクリート工学協会, p.61, 1986