高水圧下におけるコンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部の水密性試験の提案

PROPOSAL FOR WATER-PROOF TESTING METHOD OF PLACING JOINT AND CRACKING PARTS OF CONCRETE UNDER HIGH PRESSURE

手塚基広 — * 1 松井 勇 — * 2
逸見義男 — * 3 守屋哲夫 — * 4

Motohiro TEZUKA — * 1 Isamu MATSUI — * 2
Yoshio HENMI — * 3 Akio MORIYA — * 4

キーワード：
コンクリート, 打継ぎ, ひび割れ, 止水材, 防水層, 防水試験

Keywords:
Concrete, Placing joint, Crack, Water stop material, Waterproofing membrane, Water-proof test

The water-proof test method of placing joint and cracking parts of concrete under high water pressure is proposed for evaluating the under ground concrete structure. The shape and size of concrete specimen, the high water pressure test apparatus and the leading crack apparatus are developed. The effects of the period of placing joint, the type of water stop material, the kind of waterproofing membrane with cracking at its behind on the water proof performance were tested under the high pressure.

The test results are shown clearly differences in type of material and kind of construction specification. The proposed test method can evaluate the water proof performance of under ground concrete structure under high water pressure.

1. はじめに

漏水事故は屋根、外壁などからの雨水の浸入のほかに、地下外壁からの漏水がある。地下水位以下の地下構造部分は上部構造に比して高い水圧が作用するため、上部構造部分より高い水密性が要求される。

RC 造建築物の地下構造部分においては、コンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部が防水上の弱点となりやすく、さらにその部分が地下水位以下の場合、高い水圧が作用する。そのため、材料や工法の選定に当たって、コンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部の水密性を評価する試験方法が望まれている。

建築物の防水に関して、材料自体の水密性試験は標準化されているが、施工方法を含めた試験方法については日本建築学会標準仕様書 JASS 8 防水工事に屋上防水に関する試験が標準化されているが、水圧を受ける地下構造物の水密性に関する試験方法は標準化されているとはいえない。

コンクリートの打継ぎ部の水密性試験方法として田中ら³⁾、また、逆打ち打継ぎ部の水密性試験方法として高橋ら⁴⁾が報告している。コンクリートひび割れ部の水密性試験方法として石川⁵⁾、広永ら⁷⁾が報告している。地下壁などを想定して、コンクリートの打継ぎ部および下地コンクリートにひび割れを有する防水層に対する高水圧作用下における水密性を評価した研究報告は少ない。

そこで、本研究は、高い水圧を常時受けている RC 造建築地下部分の防水上の弱点であるコンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部の水密性について、使用材料および施工方法などの要因も含めて評価す

ることのできる試験方法を検討したものである。

2. 試験方法開発の考え方

地下壁など、常時、高水圧が作用するコンクリートの打継ぎ部およびひび割れ部の水密性は、防水材料のほかに、コンクリートの打継ぎ部表面処理、防水材の施工下地の処理方法など施工条件に大きく依存している。

そこで、このような構造物の防水性を評価するには、打継ぎ時間の間隔の影響、打継ぎ面の処理の影響、または止水材の種類の影響など、また、コンクリートのひび割れ部の水密性には、防水層の種類、防水層のひび割れ追従性、下地コンクリートと防水材の接着性、下地コンクリートのひび割れの幅の影響など、材料、施工条件を含めて評価できる試験方法の開発を試みた。

この試験方法を成立させるために、試験体はコンクリートとし、打継ぎ部が設けられること、防水材が施工できること、コンクリートにひび割れを所定の場所に所定の幅で誘発できること、製作した試験体を用いてそのまま水圧試験ができること、試験体を一人で持ち運びできること、などを考慮した。その結果、試験体は、ひび割れを所定の場所に、所定の幅で発生させるための油圧シリンダーが挿入できること、また、この穴に水を注入し、水圧をかけることができることを考慮して、試験体の中央部に大きな注水穴を有する形状・寸法を定めた。

*1 鹿島建設㈱

*2 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博
(〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

*3 HENMI コンサルタント

*4 吉田建設工業㈱

*1 Kajima Corporation

*2 Prof., Dept. of Architectural Eng. College of Industrial Tech. Nihon Univ. Dr. Eng.

*3 Henmi Consultant

*4 Yoshida Co., Ltd.

図1 打継ぎ部試験に用いるコンクリート試験体の形状寸法

表1 コンクリートの調合

W/C (%)	Sl. (cm)	空気量 (%)	S/A (%)	質量(kg/m ³)				混和剤(cc/m ³)	
				W	C	S	G	No.70	No.303A
65	20.5	4.5	46.9	185	285	817	979	713	2200

3. 高水圧下におけるコンクリート打継ぎ部の水密性試験方法

3.1 打継ぎ時間間隔を変えた場合

3.1.1 実験方法

(1) コンクリート試験体の形状

コンクリート試験体の形状は、図1に示すように、300×200mm、高さ300mmの直方体とし、外径114mmの塩化ビニルパイプを中央に設置して、水圧を加えるため貫通穴を設けたものである。一つの試験体には2箇所の打継ぎ部を設けることができる。打継ぎ部の断面寸法は、今回、幅93mm、長さ200mmとしたが、注水穴の直径を小さくすることによって幅を大きくすることができる。

また、この試験体は、打設方向を変えることによって、横方向(図1の場合)および縦方向の打継ぎ部を作ることができる。

(2) コンクリートの調合

調合は、打継ぎ部の水密性試験方法を検討するため、表1に示す水セメント比65%、スランプ20cmの普通コンクリート1種類とした。

(3) コンクリートの打継ぎ時間間隔

コンクリートの打設は、図1に示すように、試験体の高さの1/2である150mmまで1層目を打設したのち、表2に示す打継ぎ時間間隔で2層目のコンクリートを打設した。この際、1層目の表面のレイタンス等の除去など表面処理は行っていない。打継ぎ時間は、一度に打設する試験体の数が多かったため1層目の打設終了時間は、加水後76分間となり、打継ぎ時間間隔は、1層目の打設終了後、2時間、4時間、6時間、12時間、1日間、3日間、7日間とした。表中には1層目コンクリートの材齢も併記した。

(4) 試験体の養生方法

コンクリートの打設は、20℃恒温室で行った。1層目打設後、所定の打継ぎ時間まで、同室内で封かん養生し、1層目と同じ調合のコンクリートを用いて2層目を打設した。2層目を打設したのち、1日で脱型し、水密性試験開始まで同室内で4週間封かん養生した。

(5) 水密性試験方法

水密性試験は、試験体を図2に示す装置に設置し、水圧により打継ぎ部が広がることを防止するため、拘束ボルトで試験体を拘束した。

試験体中央の穴に注水し、打継ぎ部から漏水するまで0.02MPaずつ

表2 打継ぎ時間間隔

試験体 番号	打継ぎ時間間隔 1層目打設後からの時間*
①	打継ぎなし
②	2時間 (3.3時間)
③	4時間 (5.3時間)
④	6時間 (7.3時間)
⑤	12時間 (13.3時間)
⑥	1日
⑦	3日
⑧	7日

* () は1層目コンクリートの材齢を示す。

図2 水密性試験装置

段階的に加圧して、最大0.2MPaで試験を終了した。

本装置は最大水圧0.5MPaで設計してある。所定の圧力の持続時間は30分間とした。

試験後に試験体内部の水道を確認するために、注水する溶液はウラン溶液を用いた。漏水は目視により判定し、漏水を確認したら、漏水面に吸水紙を押し当て、吸い込んだウラン溶液の質量

から、単位時間、単位打継ぎ長さあたりの漏水量
 $(g/sec \cdot cm) = (吸水後のろ紙の質量 - 吸水前のろ紙の質量) / (吸水時間 \cdot 打継ぎ長さ)$ を求めた。

3.1.2 結果および考察

(1) 漏水開始時の水圧

水密性試験後に漏水が生じた試験体を打継ぎ部で割裂した断面を写真1に示す。漏水を生じた断面全体(写真右側の打継ぎ面)にウラン溶液の発色

が見られ、水がコンクリート打継ぎ面を通して漏水していることを確認できる。左側の打継ぎ部断面を見ると、表層部が発色し水が浸透したことが認められるが、打継ぎ部からの漏水は認められなかった。漏水した試験体は、いずれも2箇所ある打継ぎ部のうち、1箇所から漏水が発生している。

打継ぎ時間間隔を変えた試験体のはじめて漏水を生じたときの水圧(漏水開始水圧)を図3に示す。図中の●印は、打継ぎ時間2時間(1層目の材齢3.3時間)および4時間(1層目の材齢5.3時間)の

ウラン溶液による発色

写真1 試験体の割裂断面

図3 打継ぎ時間間隔と漏水開始水圧

図4 水圧と漏水量の関係

図5 補強筋の配筋

試験体を示したもので、試験終了水圧である0.2MPaでも漏水が認められなかったものである。打継ぎ時間間隔6時間（1層目の材齢7.3時間）以上の試験体には、いずれも打継ぎ部からの漏水が認められ、打継ぎ時間間隔が長くなるに従い、漏水開始水圧が急激に小さくなっている。打重ねの許容時間は、JASS5では25℃未満の場合150分以下と定められている。この実験では1層目のコンクリートの材齢5.3時間までは漏水が認められなかった。

(2) 水圧と漏水量の関係

水圧と漏水量の関係を図4に示す。漏水量は、水圧の増加に伴い多くなり、試験体④は0.14MPa、⑤は0.12MPa、⑥は0.07MPa、⑦は0.06MPa、⑧は0.04MPaを超えると急激に増加している。また、漏水量は、打継ぎ時間間隔が長くなるに従い、低水圧で多くなっている。

以上の結果より、提案した試験方法によって、高水圧下におけるコンクリート打継ぎ部の水密性を評価できることが確認できた。

3.2 打継ぎ部に止水材を施工した場合

3.2.1 実験方法

実験条件を表3に示す。

(1) 試験体

実験に用いた止水材は表4に示す板状と紐状の2種類とした。板状の止水材は、幅100mmのものが市販されているが、幅の影響を確認するため、幅20mmおよび40mmにカットしたものも使用した。

紐状止水材は、水と接することにより膨張して、止水する機構のため、膨張により打継ぎ部が広がる恐れがあるため、板状止水材を含めて、全ての試験体には、図5に示すようにD6異形鉄筋8本を、打継ぎ面を貫通するように施工した。

コンクリートの調合は、前項3.1.1(2)と同じとした。

(2) 止水材の設置および養生方法

板状止水材の場合、1層目コンクリートの打設と同時に板状止水材の幅の半分をコンクリート中に埋め込んだ。その後、温度20℃封かん養生し、1層目のコンクリートの材齢7日で2層目のコンクリートを打設した。2層目のコンクリートを打設後、4週間封かん養生した。

紐状止水材の場合は、1層目のコンクリートを打設し、材齢7日間温度20℃封かん養生後、水膨張性紐状止水材を打継ぎ面に設置して2層目のコンクリートを打設した。その後、4週間封かん養生した。比較のため、止水材を施工しない試験体および打継ぎなしの試験体も作製した。

(3) 打継ぎ面の処理

表3 実験条件および試験結果

試験番号	止水材の種類		打継ぎ面処理の有無	試験結果 漏水開始水圧(MPa)**
	名称	止水材の幅(mm)*		
①	非加硫ブチルゴム系	100	無	漏水せず
②		100	有	漏水せず
③		40	無	0.2
④		20	無	漏水せず
⑤		20	有	漏水せず
⑥	水膨張性ゴム系	—	無	0.05
⑦	水膨張性ゴム系	—	有	漏水せず
⑧	止水材なし	—	無	0.05
⑨	止水材なし	—	有	漏水せず
⑩	打継ぎなし			漏水せず

*40・20mmは100mmのものをカットしたものである。

**漏水せず：水圧0.2MPa・30分間で漏水しなかったもの。

表4 使用した止水材

種類	形状	原理
非加硫ブチルゴム系	板状	フレッシュコンクリートに差し込んで施工。コンクリートの硬化反応にしたがって接着し、止水する。
水膨張性ゴム系	紐状	硬化後のコンクリート上に接着剤で施工。接触した水と反応することで膨張し、止水する。

打継ぎ面は、2層目のコンクリートを打設する前に、1層目の表面のレイタンスを除去したのち、水湿しを行った。比較のために無処理の試験体も作製した。

(4) 耐水圧性試験方法

耐水圧性試験方法は前項3.1.1(5)に準じた。ただし、水圧は漏水するまで0.05MPaずつ加圧し、0.2MPaで試験を終了した。所定の水圧を維持する時間は30分間とした。

3.2.2 結果および考察

試験体の漏水開始水圧を表2に示す。試験体⑩の打継ぎなしのものおよび試験体⑨止水材なしの打継ぎ面処理を行ったものは0.2MPaまで漏水は認められなかった。試験体⑧止水材なしの表面無処理のものは0.05MPaで漏水を確認した。これより打継ぎ部水密性の耐水圧性には打継ぎ面の処理の有無が大きく影響していることがわかる。

試験体③止水材幅40mmの無処理は0.2MPaで漏水を確認した。この原因は確認できていない。

試験体⑥水膨張性止水材は0.05MPaと比較的低水圧で漏水している。これは、この止水材を打継ぎ部中央に設置して2層目のコンクリートを打設したもので、止水材底面のレイタンス部分が水道となって漏水したことを確認している。

4. 防水層の耐背面水圧性試験方法

この試験は、地下壁の内防水工法を対象としたもので、防水層を施工したのちに、下地コンクリートにひび割れが発生し、地下水がひび割れを通して防水層裏面に達したとき、水圧が防水層の背面から作用した場合の水密性を試験するものである。

4.1 実験方法

(1) 試験体の形状寸法

試験体は、図6に示すように、300×223mm、高さ200mmで、中央に直径165mmの注水孔を有するものである。注水孔はコンクリートにひび割れを発生させるための油圧シリンダーの設置と、ひび割れ発生後に、水圧を作用させるために設けたものである。

所定の幅になるまで徐々にひび割れを進展させるため、図6に示すように、ひび割れ誘発部の上下に直径4mmの棒ねじ2本を配筋したものである。

ひび割れ誘発部は、ひび割れが発生しやすくするために、コンクリートにノッチを設けた。ひび割れ誘発部のコンクリートの幅は約30mmとなる。

(2) コンクリートの調合
および使用した防水材
コンクリートの調合は、前項3.1.1(2)と同じとした。

使用した防水材は、表5のゴムアスファルト系、ポリマーセメント系(Bタイプ)、アクリルゴム系とした。

(3) 試験体の作製

試験体は、コンクリート打設後、材齢1日で脱型、材齢2週間で温度20℃で水中養生し、材齢3週間で温度20℃湿度60%の恒温室中で気中養生した。その後、防水層を表4に示す塗厚でひび割れ誘発面2面に施工したのち、2週間温度20℃、湿度60%で気中養生を行った。その後、ひび割れ誘発および耐背面水圧性試験を行った。

(4) 試験体のひび割れ誘発方法

ひび割れの誘発は、図7に示すように防水層を施工した試験体の中央の穴に設置した油圧シリンダーによって加圧し、パイ型ゲージによってひび割れ幅が0.1mmまで進展した時点で除圧した。このひび割れ幅は耐久性からみた場合、補修の必要がないとされるひび割れ幅である⁸⁾。

(5) 耐背面水圧性試験方法

ひび割れを誘発させた後の耐背面水圧性試験方法は、前項3.1.1(5)に準じた。

4.2 結果および考察

ひび割れからの耐背面水圧性試験結果を表6に示す。ゴムアスファルト系は、水圧0.02MPaでは防水層の損傷・漏水は確認できなかった。水圧0.04MPaでふくれが発生し、その後時間とともにふくれが拡大し続けたため、30分を超えても水圧0.04MPaを作用させ、53分後に直径約25mmのふくれ部分が破断して漏水した。

ポリマーセメント系は、水圧0.02MPaで防水層に1箇所小さな穴が

図6 ひび割れ試験体概略図

表5 使用した防水材料

防水材料の種類	塗厚 (mm)
ゴムアスファルト系	1.7
ポリマーセメント系 (Bタイプ)	1.0
アクリルゴム系	2.0

図7 ひび割れ誘発方法

表6 耐背面水圧性試験結果

水圧 (MPa)	塗膜防水		
	ゴムアスファルト系	ポリマーセメント系	アクリルゴム系
0.02	損傷なし	破断・漏水	損傷なし
0.04	53分破断・漏水 (ふくれ直径25mm)	—	損傷なし
0.06	—	—	損傷なし
0.08	—	—	損傷なし
0.10	—	—	損傷なし
0.12	—	—	損傷なし
0.14	—	—	20分破断・漏水 (直径5mm)

あき、ここから漏水した。

アクリルゴム系は、水圧0.12MPaまでは防水層の損傷は見られなかったが、水圧0.14MPaでふくれが発生し、20分後にふくれが破断して漏水した。

5. まとめ

本研究の結果を以下に要約する。

- 1) 高水圧下における打継ぎ部水密性は、打継ぎ時間間隔が長くなるほど、低下する。
- 2) 打継ぎ部に止水材を施工する場合でも、レイタンス除去等の処理が重要である。
- 3) 防水層の耐背面水圧性は、防水材の特性に応じて、漏水開始水圧、ふくれの状態が異なる結果を示した。
- 4) 本研究で提案した試験方法は、高水圧下におけるコンクリートの打継ぎ部の水密性およびひび割れ部の背面水圧性を評価することが可能である。

提案した試験によって、水密性に及ぼすコンクリートの調合・施工方法、ひび割れ幅と防水性などの影響について研究が行える。

<参考文献>

- 1) 手塚基広、松井勇、湯浅昇、守屋哲夫、鈴木康仁：ひび割れからの背面水圧による防水層の耐水圧性について、日本建築学会大会学術講演概要集、pp.879-880、2006.9
- 2) 手塚基広、松井勇、逸見義男、湯浅昇、守屋哲夫、鈴木康仁：コンクリート打足し部の耐水圧性に関する研究、コンクリート打足し時間間隔を変えた場合、日本大学生産工学部第39回学術講演会建築部会講演概要、pp.43-46、2006.12
- 3) 田中享二、申英珠：打込み中に生じたモルタルの打足し接続部の透過性と細孔構造、日本建築学会構造系論文報告集、[529]、pp.7-12、2000.3
- 4) 申英珠、田中享二、宮内博之：施工時の温度・湿度環境がモルタル打足し接続部の水密性に及ぼす影響、日本建築学会構造系論文集第567号、pp.13-18、2003.5
- 5) 高幣喜文、鈴木計夫、両角昌公：逆打継ぎ部の水密性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、[11-1]、pp.705-710、1989.8
- 6) 石川廣三：モルタル・コンクリート外壁の微細ひび割れからの漏水性状、日本建築学会構造系論文集第610号、pp.21-27、2006.12
- 7) 広永道彦、名倉健二、戸栗智仁、遠藤孝夫：非貫通ひび割れを有するコンクリート構造部の水密性評価手法の高度化、コンクリート工学年次論文報告集、[23-2]、pp.847-852、2001.8
- 8) 笠井芳夫編著、コンクリート総覧、技術書院、p.512、1998

[2007年4月10日原稿受理 2007年7月26日採用決定]