

地下貯留施設の初期性能確認と 設計・施工への配慮事項の検討

STUDIES ON THE UNDERGROUND RESERVOIR : EVALUATION OF THE INITIAL PERFORMANCE AND EXAMINATION OF THE CONSIDERATIONS ABOUT DESIGN AND CONSTRUCTION

宮田 佳和^{1*}・森松 芳隆²・岩山 剛³・前田 敏也⁴

Yoshikazu MIYATA^{1*}, Yoshitaka MORIMATSU², Takeshi IWAYAMA³, Toshiya MAEDA⁴

To extend lifetime of the facility, it is necessary to accumulate the initial data for daily and periodic inspection, and preventive maintenance based on the deterioration prediction. In this paper, as the first periodic inspection of the underground reservoir before in-service, we ascertain and estimated the initial performance of the facility by the results of the field inspection on the fault such as crack and water leak, and filling water test. In addition, for extending lifetime of forward similar facilities, we aimed at gaining technical findings about design and construction, by running standards at that point in time when it was designed and updated standards with the results of the field inspection. After these studies of this facility, we find that the performance of this facility is adequate, and also find that re-examination is needed, in case of changing execution scheme and updating of the standards under design and construction.

Key Words : *underground reservoir, crack, water leak
evaluation of the initial performance, design and construction*

1. はじめに

施設の長寿命化には，日常点検と定期点検および劣化予測に基づく予防保全的な計画，修繕が必須であり，その基本となる初期データの蓄積は不可欠である．本報は，今後継続的に実施していく施設の定期点検の一環として，供用開始前の大規模地下構造物であるポンプ排水型河川遊水地を事例に，ひび割れや漏水等の現地調査および水張り試験を実施し，その結果から初期性能の確認・評価を行ったものである．

あわせて，今後の類似施設の長寿命化に向けて，設計および施工上配慮が必要な事項について，設計当時および最新の技術基準と調査結果とを照らし合わせ，設計から施工まで一貫した技術的知見を得ることを目的とした．

検討の結果，対象とした構造物は，施設としての機能に問題はないこと，設計・施工の途中で，計画の変更や

基準類の改訂があった場合は，見直しが必要であること等が明らかとなった．

2. 概要

対象とした遊水地の概要を図-1に示す．遊水地の壁厚は2.1mのマスコングリートであり，ひび割れ対策として低熱ポルトランドセメントを使用し，ひび割れ誘発目地を7m間隔で設置していた．

(1) 初期性能の確認・評価

初期性能の確認・評価のため，健全度調査および水張り試験を実施した．

健全度調査については，貯留施設の側壁およびポンプ室の内壁ならびに天井を対象に行った．調査の対象とし

キーワード：地下貯留施設，ひび割れ，漏水，初期性能確認，設計・施工

¹正会員 清水建設㈱ 土木技術本部 主任 Senior Engineer, Civil Engineering Technology Division, Shimizu Corp., (E-mail:y-miyata@shimzu.co.jp)

²非会員 横浜市 道路局 河川部 技師 Engineer, River Department, Road Bureau, Yokohama City

³非会員 横浜市 道路局 河川部 係長 Assistant Manager, River Department, Road Bureau, Yokohama City

⁴フェロー会員 清水建設㈱ 土木技術本部 グループ長 Group Manager, Civil Engineering Technology Division, Shimizu Corp.

た主な変状は漏水であり、これまでの実績・事例等から漏水の原因となる可能性が高いと考えられる、ひび割れ、ジャンカ等についても調査を行った。調査は、目視、寸法の測定、写真撮影により行い、漏水については漏水の程度により箇所ごとにランク付けを行った（表-1参照）。

水張り試験は、近隣の川から取水して設計満水位まで水を貯留し、水位の変化を記録することにより施設外への漏水の有無を確認した。また、湛水中に水位以下となるポンプ室の壁ならびに天井について漏水の調査を行った。

湛水前、湛水中に調査対象とした箇所を図-2、図-3にそれぞれ示す。

(2) 設計・施工への配慮事項の検討

設計・施工の条件や実施記録と、漏水の有無・程度などの健全度調査の結果とを照らし合わせ、今後の類似構造物（水槽構造物）の設計・発注および施工管理に必要な配慮事項を抽出した。

設計上の配慮事項については、健全度調査結果より、ひび割れ幅と漏水の有無の相関から、漏水に対する許容ひび割れ幅の妥当性について検討した。また、設計上のひび割れ制御対策についても検討を行った。

施工上の配慮事項については、コンクリートの配合や施工方法、打継ぎの処理方法から水密性の照査を行い、漏水の原因となる欠陥を防止するための対策について検討を行った。

3. 健全度調査結果

(1) 湛水前調査

健全度調査の状況を写真-1に示す。発生していた変状は主に、ひび割れ、漏水、エフロレッセンス（以下、エフロと略す）であり、他に一部でうき、はく離、豆板が見られた。また、ひび割れの補修跡も見られたため、このうち幅が正確に測定できるものについては幅も記録した。

ひび割れについては、形状、方向などから種類は大きく二つに分類された。一つは縦方向のひび割れであり、これは下端を既設部位で拘束された外部拘束による温度ひび割れであると推定された。外部拘束による温度ひび割れの特徴として、壁を貫通したひび割れとなることが多く、ひび割れから漏水やエフロを伴っていたことから、このひび割れは温度ひび割れである可能性が高いと考えられた。

また、もう一つは横方向のひび割れであり、これらは打継ぎ、コールドジョイントであると考えられ、漏水を



図-1 施設パース図

表-1 漏水のランク付け

ランク	状態
I	コンクリート表面がこじむ程度の漏水
II	水滴程度の漏水
III	常に流れ出す程度の漏水

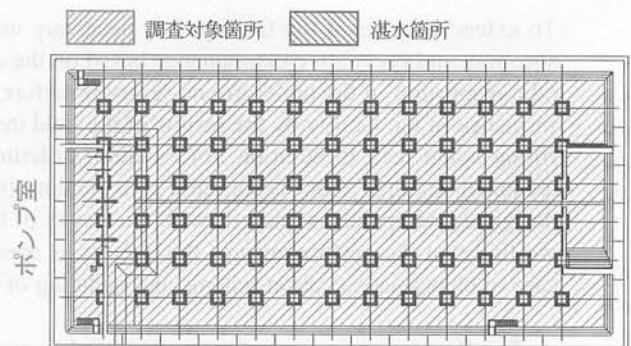


図-2 健全度調査対象箇所平面図（湛水前）

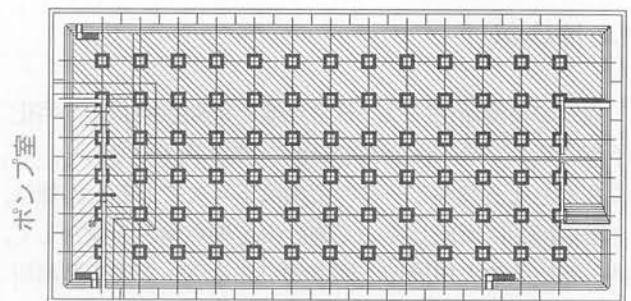


図-3 健全度調査対象箇所平面図（湛水中）



写真-1 健全度調査状況

伴うものと伴わないものがあった。

漏水，エフロについては，上記のひび割れ箇所や，ひび割れ誘発目地の周辺，打継ぎ部付近およびPコン部で見られたが，漏水ランクは全てⅠであった。

また，側壁に発生したひび割れ幅の最大値は0.8mm，最頻値は0.2mmであり，多くは補修済であった。ただし，補修済みのひび割れのうち，漏水が発生しているものも見られた。

(2) 水張り試験

水張り試験では，注水中の水位を水位計および半導体ゲージ式水位センサ（写真-2）を用いて計測した。水位の記録を図-4に示す。

注水中のポンプ室内壁の漏水は，漏水箇所の背面に水位が達した直後から始まり，その後水位が上がっていくにつれて漏水箇所数の増加が見られたが漏水量は微量であった。ただし，設計満水位で注水を停止してからの水位低下は1mm程度であったため，貯留施設側壁から外部への水の流出はほとんどなく，遊水地の貯留性能に与える影響は少ないと考えられた。

(3) 湛水中調査

湛水中の調査では，ポンプ室内壁のひび割れ部およびPコン部に新たに漏水が発生した。ポンプ室内で新たに発生した漏水は68箇所であり，ほとんどはランクⅠであったが，2箇所のひび割れからランクⅡの漏水が発生した。

ランクⅡの2箇所はいずれも斜め方向のひび割れであり，気温の季節変動による部材の変形が原因と考えられた。ひび割れ幅は，0.15mmおよび0.30mmであった。幅0.30mmのひび割れのスケッチおよび写真を図-5，写真-3に示す。なお，ランクⅠの漏水は打継ぎ箇所やPコン周りからのものがほとんどであった。

4. 設計への配慮事項の検討

設計上の配慮事項としては温度ひび割れ解析を行うことによる，ひび割れからの漏水制御が挙げられる。当該構造物の側壁は壁厚が2,100mmであることからマスコンクリートに分類され，調査結果からも温度ひび割れと考えられるひび割れからの漏水が確認された。

ここでは，設計時に行われた2次元温度応力解析と，現行の基準で行った3次元温度応力解析結果の比較を行い，調査結果との整合性を確認した。また，ひび割れの幅と漏水の有無との相関から，漏水に対する許容ひび割れ幅についての検討を行った。



写真-2 半導体ゲージ式水位センサ

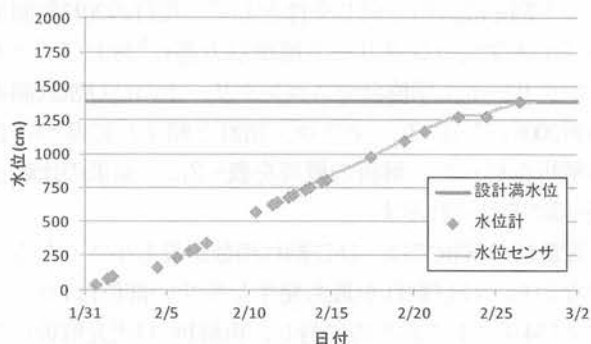


図-4 注水中の水位の経時変化

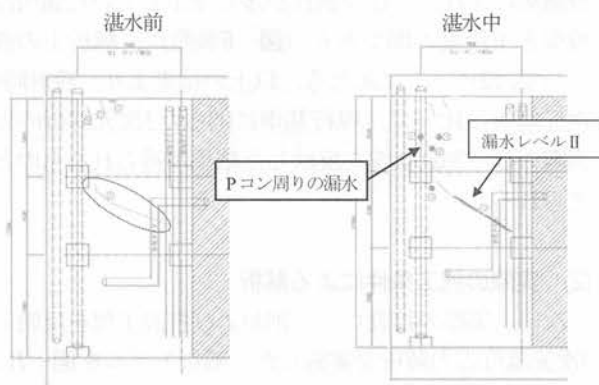


図-5 漏水ランクⅡのひび割れ



写真-3 漏水ランクⅡの漏水状況

さらに，当該構造物で実施されたひび割れ対策と，発生したひび割れや漏水の補修方法，補修材料について妥当性を検討した。

(1) 解析手法の比較

設計時の解析は平成8年制定の「土木学会コンクリート標準示方書」¹⁾ (以下、コ示と略す) に基づいた2次元温度解析およびCP法により実施されており、ひび割れ指数1.0以上を目標としていた。解析手法については、近年は有限要素法 (FEM) による3次元温度応力解析が主流であり、解析に用いる各種の定数も平成8年当時から見直されているため、ここでは配合や打設工程、打設ロット割を設計時と同じ条件として、現行の2012年制定の「土木学会コンクリート標準示方書」²⁾ および「日本コンクリート工学協会マスコンクリートのひび割れ制御指針2008」³⁾ (以下、マスコン指針と略す) に基づいた再解析を行った。解析の概要を表-2に、結果の比較を表-3にそれぞれ示す。

設計時の解析では、ひび割れ指数が最も小さくなる、すなわち、ひび割れが最も発生しやすい部位は1ロットおよび4ロットであるのに対し、再解析 (3次元解析) では、2ロットおよび3ロットであった。湛水前の側壁の調査結果によれば、ひび割れが多く発生していた箇所は上段梁と下段梁の間であり (図-6参照)、解析上の部位としては2ロットにあたる。以上の結果より、設計時の2次元解析に比べて、現行基準に則った3次元解析の方が、実際のひび割れ状況を反映した結果が得られるものと考えられる。

(2) 実際の施工条件による解析

次に、実際の打設ロット割および打設工程を反映した3次元温度応力解析を実施した。解析モデルを図-7に示す。当該構造物は連続地中壁に直接接しているため、地中壁もモデル化した。また、ロット割は設計時の4ロットから7ロットに変更されており、打設工程は、実施工程表および生コンクリートの納入伝票から設定した。物性値などの解析条件はコ示2012年版およびマスコン指針に準拠した。

解析結果を表-4に示す。ひび割れ指数は前項の3次元解析と同様、上段梁と下段梁の間である3ロット～6ロットで小さくなっており、実際の調査結果と一致している (図-6参照)。ただし、全てのロットでひび割れ指数は前項の解析結果より小さくなっており、その原因として以下の2点が考えられる。

- ①下部の部材による拘束の受けやすさは、上部の部材の幅と高さの比が関係しており、ロット高さを低くしたことにより拘束の度合いが大きくなった。
- ②設計時の解析ではモデル化されていなかった連続地中壁および側壁背面の地盤による拘束が影響した。また、設計時の解析では側壁の両面から水と熱が発散する設定となっているが、背面に連続地中壁や地盤があるため、熱の発散が抑えられて内部温度が高くなった。

表-2 解析概要

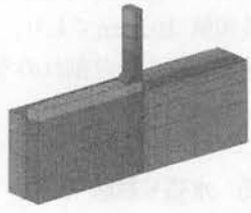
	設計時	再解析
解析方法	2次元解析 (CP法)	3次元解析 (FEM)
モデル概要		
準拠基準	コ示 平成8年版 (1996年)	コ示 2012年版 マスコン指針 (2008年制定)

表-3 解析結果比較

部位	ひび割れ指数	
	設計時	再解析
1ロット	1.03	1.53
2ロット	1.41	1.19
3ロット	1.08	1.04
4ロット	1.03	1.29

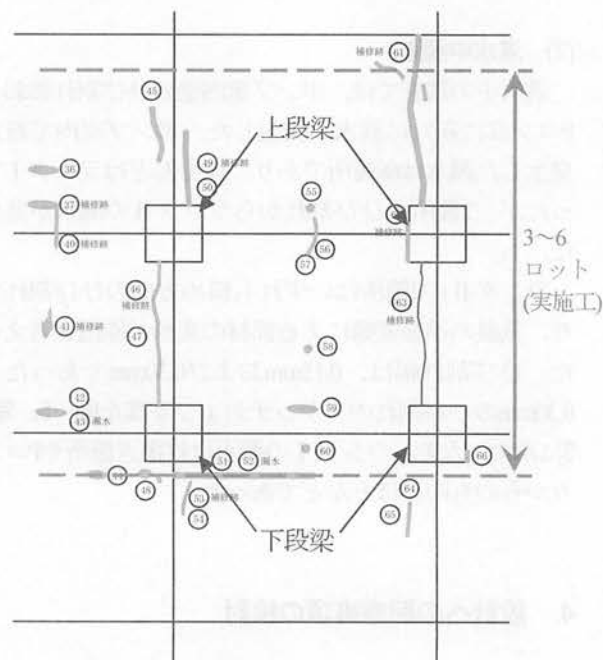


図-6 ひび割れ発生状況

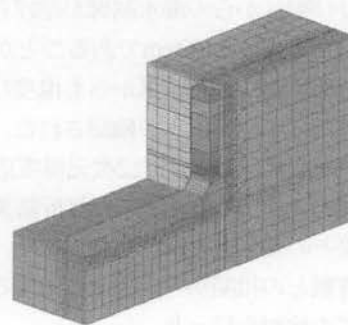


図-7 解析モデル (実施工)

表-4 解析結果

部位	ひび割れ指数	
	本項の解析※	前項の解析
1 ロット	1.06 (0.23mm)	1.53
2 ロット	1.01 (0.24mm)	
3 ロット	0.85 (0.28mm)	
4 ロット	0.89 (0.27mm)	1.19
5 ロット	0.82 (0.29mm)	1.04
6 ロット	0.81 (0.29mm)	1.29
7 ロット	0.98 (0.25mm)	

※()内は予測ひび割れ幅

表-5 対策レベルとひび割れ指数・発生確率の関係 (コ示)

対策レベル	平成8年度版		2012年度版	
	指数	発生確率	指数	発生確率
ひび割れ防止	1.75	5%	1.85	5%
ひび割れ制限	1.45	25%	1.40	15%
ひび割れ許容	1.0	85%	1.0	50%

表-6 ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係 (コ示)

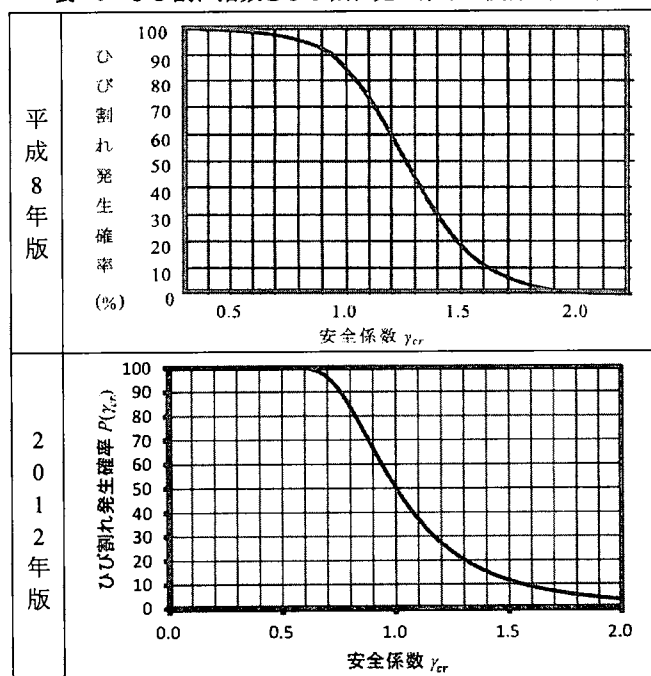


表-7 断面欠損率についての記述 (コ示)

改訂年度	記述内容
2002年度版以前	20%以上
2007年度版	30~50%程度
2012年度版	50%以上程度

また、3ロット～7ロットでは設計時に設定していたひび割れ指数の目標値 (1.0) を下回る結果となった。ただし、コ示2012年版に基づいて、ひび割れ指数と鉄筋比から予測ひび割れ幅を計算した結果、ひび割れ幅は概ね0.2～0.3mm程度であり、実際の調査結果と概ね一致した。

これらの結果から、本項の解析結果の妥当性が検証された。

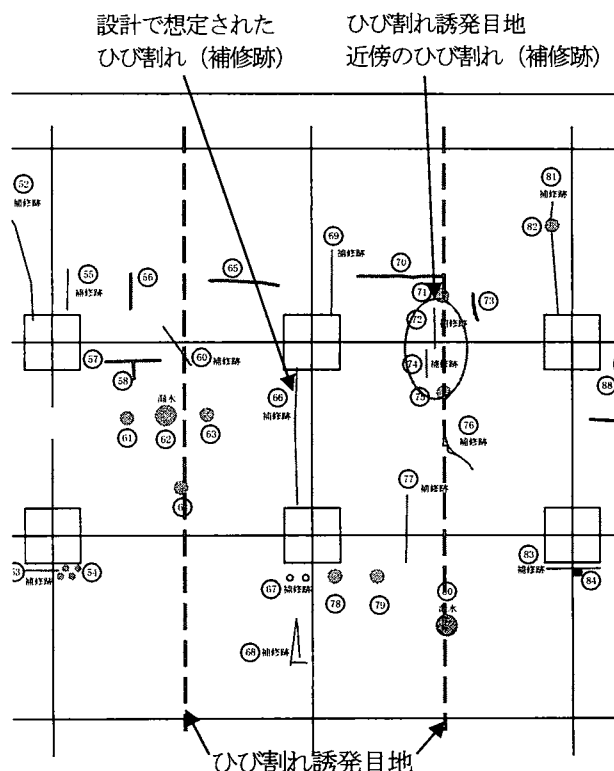


図-8 ひび割れ誘発目地付近のひび割れ

(3) ひび割れの制御目標値

当該構造物では、設計時の解析において、ひび割れ制御のために、ひび割れ指数 1.0 以上を目標としていた。これはコ示によれば「ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合」の目標値である。ここで、ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係は近年のデータの蓄積により変化してきており (表-5、表-6参照)、ひび割れ指数 1.0 に対応するひび割れ発生確率は、設計時のコ示では 85%であったが、現行のコ示では 50%となっている。また、鉄筋比からひび割れ指数 1.0 の時の予測ひび割れ幅を計算すると、いずれも 0.25mm となり、設計時のひび割れ幅の制御目標値は 0.25mm であったと推察される。

(4) ひび割れ誘発目地

ひび割れ誘発目地は、コンクリートに意図的に断面欠損させた部分を作って温度ひび割れが発生する位置を計画的に定め、ひび割れを集中的に発生させることを目的としたものであり、温度応力解析を行って設置間隔を設定する。当該構造物におけるひび割れ誘発目地の断面欠損量は 600mm であり、壁厚 2,100mm に対しての断面欠損率は 28.6%である。ひび割れ誘発目地による断面欠損率については、近年、コ示の記述が改訂されており (

表-7参照)、設計時に対応する 2002 年度版までは「20%以上」と示されていたが、2007 年度版では「30～50%程度」、最新の 2012 年度版では「50%程度以上」とされている。改訂により欠損率の標準値が大きくなっ

てきたことについては、改訂資料にも理由が述べられており、ひび割れ誘発目地の部分に確実にひび割れを発生させるためには近年の施工実績などから 50%程度必要であることが判明してきたためである。

現地調査結果において、温度ひび割れと考えられる縦方向のひび割れは上段梁と下段梁の位置、すなわち、ひび割れ誘発目地設置間隔の中心付近に多く発生しており、これは設計で考慮されている「幅を制御するひび割れ」である。しかし、縦方向のひび割れは、ひび割れ誘発目地の近傍にも発生しており（図- 8参照）、これは、断面欠損率が低かったために、ひび割れを目地の箇所誘発できていなかったことが原因と考えられる。

(5) 漏水に対する許容ひび割れ幅の検討

各ひび割れ毎（0～0.1mm、0.1～0.2mm、0.2～0.3mm、0.3mm～）に、湛水前および湛水中に漏水が発生した確率を図- 9に示す。湛水前はひび割れに対して既に補修が行われていたために、漏水はほとんど生じていないものと考えられる。一方、湛水中では、ひび割れ幅0.2mm以下の箇所では3割近くの箇所で漏水が発生しており、0.2mmを超えた場合は全ての箇所で漏水が発生した。これは、防水性・水密性の要求性能を確保するためのひび割れ幅を0.05mm以下、0.2mmを超える場合は性能低下が顕著であるとする「日本コンクリート工学会ひび割れ調査、補修・補強指針」⁹⁾に該当する結果と言える。

ただし、湛水前において補修跡からの漏水も低い確率ではあるが見られた。補修方法については、施工計画書を確認したところ、ひび割れ幅や漏水の量によって材料、工法を使い分けており、適切に補修されていたと考えられるが、一部の箇所では漏水が発生する結果となった。このことから、適切な材料、工法により漏水部の補修を行ったとしても、漏水を完全に防ぐことは困難であり、事前の解析によって漏水が防げる程度にひび割れ幅を制御することが重要であると考えられる。

5. 施工への配慮事項の検討

今回の調査で発生していた変状のうち、打継ぎ部およびPコン周りからの漏水、エフロ等は施工段階で対策をとるべき問題である。ここでは、施工への配慮事項を検討するにあたり、健全性調査の結果、漏水が見つかった打継ぎ部とPコン周りについて、当時の施工計画書などから原因を推定し、今後の対策を検討した。

(1) 施工計画書の照査

施工計画書を確認したところ、コンクリートの打込み高さや速度等の施工方法はコ示に準拠した内容であった。

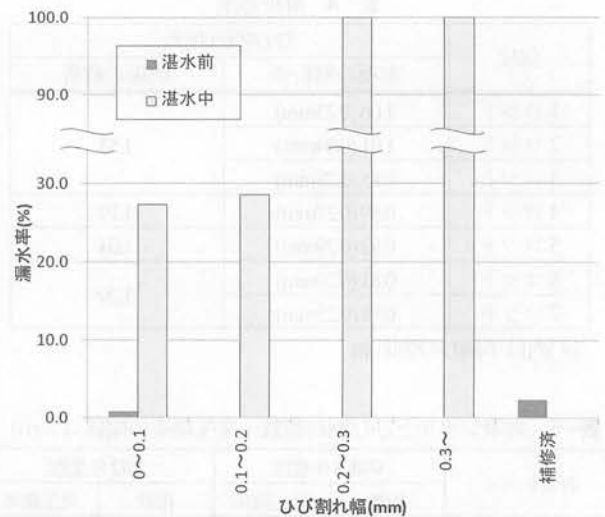


図- 9 ひび割れ幅と漏水率の関係

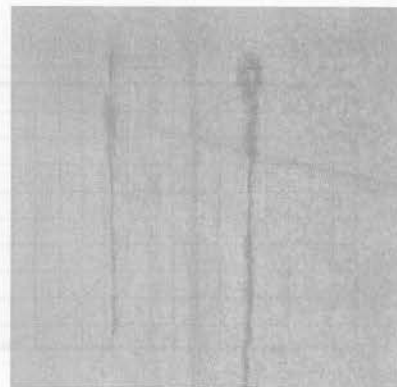


写真- 4 Pコン周りの漏水状況

また、施工に関する内容についてはコ示の改訂による大きな変更点はなかった。

(2) 打継ぎ部の漏水

当該構造物の側壁において、打継ぎ箇所には止水板が設けられていたが、一部の箇所では漏水が見られた。止水板などの対策を行ったとしても止水板の設置の仕方次第では、打継ぎ箇所が水みちとなりやすいことになり、打継ぎ箇所を少なくすることは漏水対策の一つであると言える。

当該構造物の打設ロット高さは1.6～3.1mであり、横梁がある構造であるため、打継ぎ箇所は横梁の箇所に限定され、ロット高さをこれ以上大きくすることは困難であると考えられる。したがって、更なる漏水対策としては、止水板を複数設置することなどが考えられる。

(3) Pコン周りの漏水

Pコン周りの漏水状況を写真- 4に示す。施工計画書より、当該構造物ではPコン周りに止水ゴムリングが使用されていたが、この止水ゴムが十分機能していれば漏水

は生じなかったと考えられる。止水ゴムが機能しなかった原因としては、打設中にコンクリートが沈下してPコン近傍で沈下ひび割れが発生した、あるいは、沈下によって止水ゴムの能力を超える大きさの空隙がセパレータ下に生じたために、漏水が起こった可能性が考えられる。また、Pコン付近でのコンクリートの充填不良も原因の一つとして考えられる。

ここで、充填不良の原因としては、使用したコンクリートのスランプが適切でないことが考えられるため、スランプの選定について、コ示に従って照査を行った。当該構造物の側壁は、鋼材量 77.8kg/m^3 、最小あき 93mm の壁部材であり、締固め作業高さは足場の図面がないため不明であるが、打設ロット割が最大 3.1m であったことから、 5m 以下であると推定できる。この条件で算定される打込みの最小スランプは 12cm であり、これに受入検査での許容値(2.5cm)やポンプ圧送によるスランプロス(1cm)を考慮すると示方配合のスランプは 15cm となる。実施工ではスランプ 15cm のコンクリートを使用しており、Pコン付近での漏水について、不適切なスランプに起因する充填不良が原因である可能性は低いと考えられる。

一方、コンクリートの沈下の原因はブリーディング(練混ぜ水の遊離)である。ブリーディングは、一部の特殊コンクリートを除き、全てのコンクリートで生じる現象であり、配合や環境温度などに大きく影響を受ける。

配合面では、単位水量が多い場合にブリーディングが顕著となるため、施工に支障のない範囲でスランプを小さくして単位水量を抑えることが対策となるが、前述の通り今回使用した配合のスランプは適切であった。また、設計時の温度ひび割れ解析の結果から低熱セメントを使用しているが、低熱セメントを使用した場合は普通セメントに比べて凝結時間が長くなるためブリーディングの発生が多くなる傾向がある。

また、環境温度が低い場合は、凝結が遅れるためブリーディングの発生が多くなる傾向があるが、側壁の打設は1年を通じて行われており、Pコン周りの漏水は冬に打設した箇所だけではなく、夏に打設した箇所にも発生していた。また、Pコン周りの漏水が集中している箇所とほとんど発生していない箇所があり、これは当日打ち込んだコンクリートの品質や施工方法にバラツキがあった可能性があると考えられる。

施工時に使用した4プラントの配合を表-8に示す。表より、いずれの配合も単位水量に大きな差はなく、ブリーディング発生については同程度と考えられ、示方配合に問題はないものの、当日の配合のばらつきが原因で局部的にブリーディングが多く発生し、沈下が生じた可能性がある。ただし、施工記録からは漏水の多い箇所と使用したプラントの関係までは把握できなかった。

表-8 各プラントの配合

セメント 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
L	49.8	45.9	165	332	824	983
	46.0	44.4	172	374	770	985
	47.4	47.5	163	344	841	968
	48.9	43.8	153	313	815	1069

さらに、打ち上がり速度および締固め時間などの施工方法もコンクリートの沈下に影響を与える。打ち上がり速度が大きい場合は、ブリーディング水が抜けきらないうちに上層を打重ねるため、ブリーディング水が後から抜けることによって沈下量が大きくなる。また、締固め時間が長い場合は材料の分離(沈降)が起こり、ブリーディングの発生量が多くなる。打ち上がり速度については実際の搬入集計表から推定したところ、 0.3m/h 程度であり、コ示の記述である30分あたり $1\sim 1.5\text{m}$ よりは小さく、沈下に対しては安全側であると言える。また、締固め時間については施工計画書においてはコ示の記述と同じく $5\sim 15$ 秒とされているが、施工上のばらつきにより、局部的にコンクリートの沈下が生じた可能性も考えられる。

以上の結果から、ブリーディングによる沈下対策として、特に低熱セメントを使用する場合など、ブリーディングが多くなることが予想される場合は、事前にブリーディング試験を行って性状を把握し、場合によっては単位セメント量や細骨材率を大きくするなど配合を調整することが挙げられる。また、施工時に実施する沈下対策としては、Pコン周りの再振動が挙げられるが再振動の実施が不十分であった可能性もある。

6. まとめおよび今後の展開

健全度調査および配慮事項の検討により得られた知見を以下にまとめる。

(1) 健全度調査

- ①発生していた変状は主に、ひび割れ、漏水、エフロであった。
- ②ひび割れについては漏水やエフロを伴う縦方向に壁を貫通した温度ひび割れ、横方向の打継ぎ跡で漏水を伴うものと伴わないものがあつた。
- ③ひび割れの幅は最大値が 0.8mm 、最頻値が 0.2mm であり、多くは補修済みであった。
- ④漏水はひび割れの他、Pコン周りでも見られた。

- ⑤漏水ランクはほとんどがランクⅠであったが、湛水中のポンプ室内壁においては、2箇所のひび割れからランクⅡの漏水が見られた。
- ⑥漏水は見られたものの、湛水中の水位変化はほとんどなく、構造物の初期性能に問題はなかった。

(2) 設計への配慮事項

- ①温度ひび割れ解析について、設計時の解析と現行基準での解析を比較したところ、後者の方が調査結果とより合致する結果となった。
- ②ひび割れの補修跡からの漏水も見られたため、事前にひび割れを制御することが重要である。
- ③ひび割れ誘発目地については、設計時の計画では当時の基準を満たしていたが、施工時にはその基準が改訂され、欠損率が不足していた。
- ④計画時、設計時、発注時などから、施工までの期間が長くなる場合は、必要に応じて最新の知見に基づいた再検討を実施すべきである。
- ⑤温度ひび割れ解析については、ロット割、配合、打設時期などの施工条件が確定した時点で再照査し、必要に応じて対策をとることが望ましい。
- ⑥ひび割れ箇所での漏水は、湛水前はほとんど生じておらず、湛水中は、ひび割れ幅0.2mm以下の箇所では3割近くの箇所で、0.2mmを超える箇所では全ての箇所で漏水が発生した。また、補修跡からの漏水も低い確

率ではあるが見られた。

- ⑦適切な材料、工法により漏水部の補修を行ったとしても、漏水を完全に防ぐことは困難であり、事前の解析によって漏水が防げる程度にひび割れ幅を制御することが重要である。

(3) 施工への配慮事項

- ①打継ぎ部の漏水については、止水ゴムなどによる止水では限界があると考えられるため、ロット高さを高くすることや、連続打設するなどして打継ぎ箇所を減らすことが対策として考えられる。
- ②Pコン周りの漏水対策としては、配合の調整や再振動の実施、実績の少ない配合を使用する場合は、必要に応じてブリーディング試験等を実施するのが望ましい。

参考文献

- 1) 土木学会：平成 8 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，1996.3
- 2) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，2012.3
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，2008.11
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-，2013.4