

論文

[1074] 高水圧下におけるコンクリートのひびわれからの漏水に関する研究

正会員○伊藤祐二（フジタ技術研究所）

正会員 青景平昌（フジタ技術研究所）

正会員 笹谷輝勝（フジタ技術研究所）

1. はじめに

水密性が要求される構造物においては、ひびわれからの漏水は重大な問題である。特に大深度地下では作用水圧も大きく、構造物の機能低下やランニングコストの増大等が懸念される。ひびわれからの漏水特性については、建築物外壁の風圧による雨水の漏水についての研究[1]はあるものの、高水圧が作用した場合の研究報告は少ないように思われる。そこで、コンクリートひびわれからの漏水特性に関する基礎的資料を得ることを目的とし、作用水圧、部材厚、人工的に作成したひびわれの幅および試験材令をパラメータとし、モルタル供試体について漏水試験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験概要

2. 1 試験条件

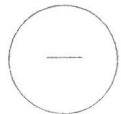
表-1に漏水試験条件を示す。ひびわれの治癒効果による漏水量の変化を調べるために、材令3日にて試験を行った供試体を標準養生し、材令28日にて再度試験した。

2. 2 試験方法

供試体はφ15×15 およびφ15×30cmの型わくを用いて作成した。所定の高さおよび厚さの黄銅板（幅5cm）を型わく内に固定し、モルタル（W/C=40%, S/C=2.5）を打設した。材令24時間で黄銅板を静かに引き抜き、人工的にひびわれを想定したスリットを作り、脱型後材令3日まで20℃、98%RHの湿空中で養生した。供試体は同時に3体作成し、試験値はその平均値で評価した。

試験は図-1に示す装置にて行った。圧力容器内の底版（直径10cmの排水孔有り）上に供試体を設置し、底面をシーリングした後、容器内に注水して加圧した。所定の水圧を保持し供試体下面からの排水量（漏水量）の経時変化を測定した。この種の試験では水の粘性係数の影響が大きいため、水温を15℃の一定値とした。

表-1 漏水試験条件

水圧(kgf/cm ²)	0.3, 0.6, 1, 3, 6, 9	供試体平面図 
ひびわれ長さ: 5cm 一定		
ひびわれ幅(mm)	0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0	
部材厚(cm)	5, 14, 29	
試験材令(日)	3, 28	

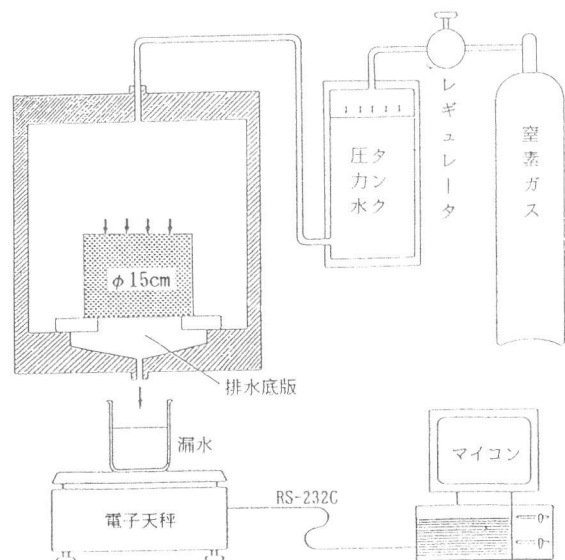


図-1 漏水試験装置

3. 試験結果

図-2 および 3 に材令 3 日における漏水量と水圧、および漏水量とひびわれ幅の関係を、おのおの部材厚 29cm の場合について示す。図-2 より、漏水量は水圧が大きいほど大きくなっているが、その勾配は水圧の増大にともなって低下していることが認められる。この傾向はひびわれ幅が大きいほど著しい。また、図-3 よりひびわれ幅の増大に伴って漏水量も増大していることが認められる。しかし、同一の水圧下におけるひびわれ幅の増大による漏水量の増大する割合は、ひびわれ幅が大きくなると小さくなる傾向を示している。

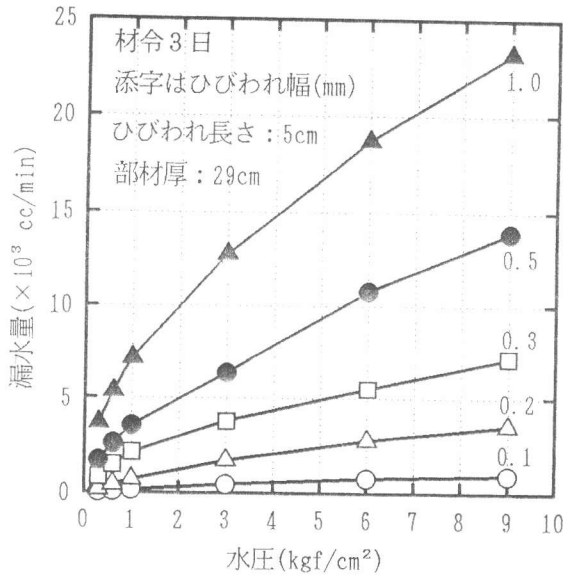


図-2 漏水量と水圧の関係

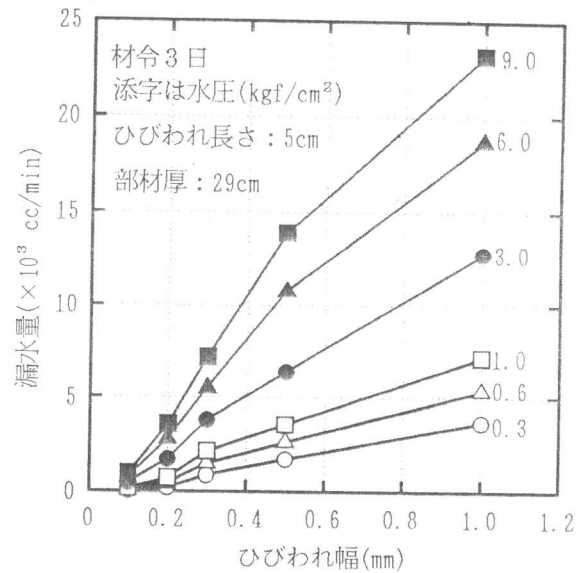


図-3 漏水量とひびわれ幅の関係

図-4 は材令 3 日における漏水量と部材厚の関係を示したものである。部材厚の増大に伴って漏水量は小さくなっており、この傾向は水圧およびひびわれ幅が大きいほど著しい。

材令 3 日で試験した後、供試体を材令 28 日間まで標準養生して再度試験した。材令 28 日経過時点で、供試体下面にひびわれに沿って析出物が観察されたものもある。一般に、耐久性または防水性からの許容ひびわれ幅は 0.1~0.2mm 以下とされているので、ひびわれ幅 0.1 および 0.2mm の場合の再試験結果を図-5 に示す。試験結果にバラツキがあるので、漏水量の比（漏水量比 = 材令 28 日の漏水量 / 材令 3 日の漏水量）の範囲で整理した。材令 28 日迄養生することで漏水量は材令 3 日の時点の 25~60% 程度に低下している。

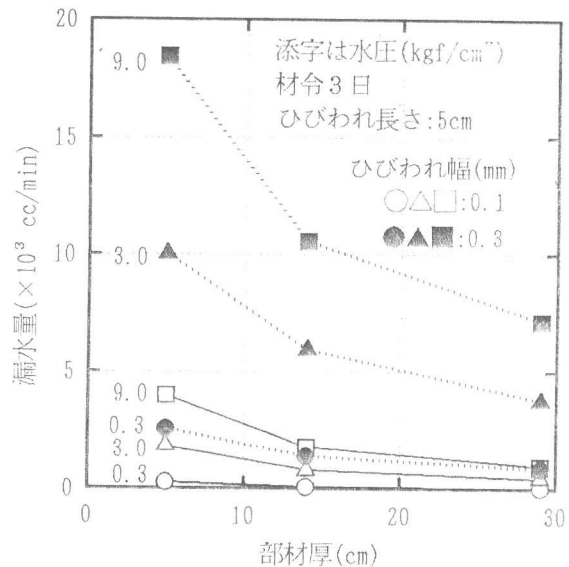


図-4 漏水量と部材厚の関係

以上の結果は、人工的に作成したひびわれ供試体によるものである。このひびわれは実際の場合と比べると非常に平滑でかつ直線的であり、さらにひびわれの治癒や粒子が内部へ流れ込むことによる閉塞効果も存在するので、実際にはかなり小さくなると考えられる。

4. 考察

4. 1 漏水の抑制方法

試験結果から、ひびわれの存在するコンクリート部材が水圧を受ける場合に、漏水量を抑制するためにはひびわれ幅を極力小さくし、部材厚を大きくすることが有効だと言える。ひびわれ幅を小さくすることは、仮の止水補修をすることでひびわれの治癒効果を発揮させることにもつながる。幅0.3mm、長さ1mのひびわれを有する厚さ29cmの壁体が、6および9kgf/cm²の高水圧を受けた場合の漏水量を推定すると、毎分110および143ℓとなる。ところが、ひびわれ幅を0.1mmにすると毎分16および19ℓに抑えることが出来て、これで漏水量を約1/7に低減できる効果がある。

また、コンクリートのひびわれ幅を極力小さくすることは漏水を抑制する上で重要であるが、完全になくすることは非常に困難と思われる。従って、高水圧の作用を受ける構造物を構築する場合には、コンクリートに止水機能のすべてを持たせるのではなく、防水シートの併用など他の手段も併せて検討するのが有効と考えられる。

4. 2 漏水量の予測式

漏水量の予測式としては、圧力によりひびわれを通過する水の流れが層流だと仮定して、二次元ポアズイユ流れ[2]が一般に適用されている。この場合、ひびわれ内部の粗度等により定まる係数Cを導入して、漏水量は式(1)で表わされる。

$$Q = C \cdot \frac{b \cdot P}{12 \cdot \mu \cdot H} \cdot t^3 \quad (1)$$

ここに、Q: 漏水量 (m³/s) H: 部材厚 (m)

C: 係数 t: ひびわれ幅 (m)

b: ひびわれ長さ (m)

P: 水圧 (Pa, 1Pa=1.019716
×10⁻⁵kgf/cm²)

μ: 粘性係数 (Pa·s, 水温15℃で
は1.138×10⁻³Pa·s)

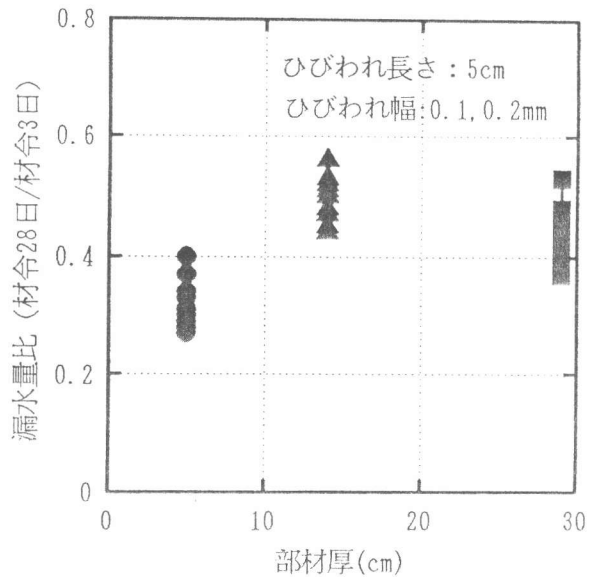


図-5 漏水量比と部材厚の関係

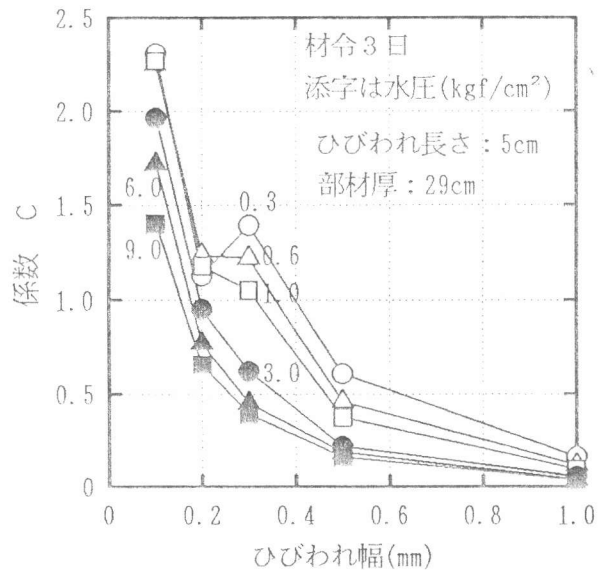


図-6 係数Cとひびわれ幅の関係

式(1)によれば、漏水量は水圧の1乗およびひびわれ幅の3乗と比例関係を持つことになる。しかし、試験結果はかならずしもそうになっておらず(図-2、3参照)、乱流状態での試験結果もかなり含まれていると思われる。式(1)を用いて逆算した係数Cの一例を図-6に示す。係数Cは試験条件によってかなり広い範囲に分布している。係数Cの適用性は低く、層流状態を仮定した式(1)は本実験のような高水圧下には適用できないと考えられる。

材令3日における試験結果より、多変量解析にて実験式(2)を求めた。図-7に式(2)による予測値と試験値の比較を示す。予測値と試験値は比較的良く一致しており、高水圧が作用する場合には乱流状態での漏水量予測式を用いるのが適当と思われる。

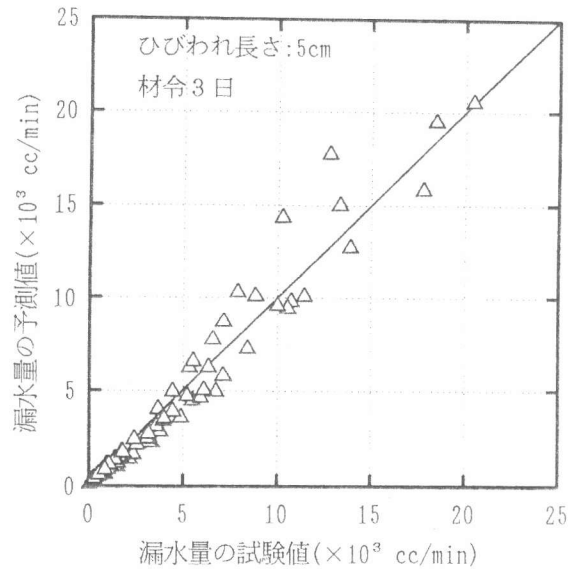


図-7 漏水量の予測値と試験値の比較

$$Q = \frac{13.213 \cdot b \cdot t^{1.552} \cdot P_H^{0.660}}{H^{0.675}} \quad (2)$$

ここに、Q: 材令3日における漏水量 (m^3/s)

P_H : 水頭 (m) (その他の記号は式(1)と同様)

5. まとめ

ひびわれが存在するコンクリート部材に高水圧が作用する場合の漏水特性を把握するために、ひびわれをモデル化したモルタル供試体を作成し、水圧を0.3~9.0kgf/cm²、ひびわれを想定したスリット幅を0.1~1.0mm、部材厚を5~29cmの範囲で変化させ、異なる材令で漏水試験を行なった。本研究の範囲内で次のことが言える。

- (1) 6~9kgf/cm²の高水圧が作用する場合、ひびわれ幅を0.3から0.1mmに抑制することによって、漏水量を約1/7に低減することができる。
- (2) ひびわれ幅が0.1および0.2mmの場合、材令28日迄静水中で養生することで漏水量を材令3日の時点での25~60%程度に低下させることができる。
- (3) 高水圧の作用を受けるコンクリートひびわれからの漏水量は、層流状態を仮定した式(1)では予測できず、乱流状態での予測式が必要とモルタルによる実験から考えられる。

実際に発生するひびわれは本研究の場合と較べて内部の粗度が大きく、形状もかなり複雑だと考えられる。これらの影響についての検討は重要であり、乱流状態の場合の漏水量予測式とともに今後の課題である。

参考文献 1) 例えば、重倉祐光: ひびわれと防水、コンクリートジャーナル、Vol.11、No.9、pp.85-88、1973

2) 吉川秀夫: 水理学、技報堂、1976