

# 浸透破壊現象の整理と限界動水勾配・限界流速 評価に関する実験的検討

日本大学工学部 学生員 ○小林 直人 國分 駿義  
日本大学工学部 正員 梅村 順

## 1. はじめに

浸透破壊現象はパイピングをはじめとする様々な呼び名があるように、複雑な現象である。そのため、Terzaghi の限界動水勾配や Justin の限界流速のような、破壊に対する基準が提案されているものの、現象との対応が困難で、有効な手法として多くの問題がある<sup>1)</sup>。本研究では浸透破壊現象に対して、2つの力学系を決定して捉え、その現象を整理すると共に、両方の力学系での評価が可能な流速制御方式浸透破壊試験<sup>2)</sup>を実施して、それぞれの力学系での評価値の関係を検討する目的で進めた。

## 2. 本研究における浸透破壊現象の考え方

浸透破壊現象は、パイピング、ボイリング、ルーフィング、ヒービング(厳密にはその一部)、地中侵食等、様々な呼称で呼ばれている。また、浸透流による細粒分の移動に伴う目詰まりが、広義の浸透破壊現象に含まれることもある。著者らは先ず、表-1に示すように、生じ易い場所、規模、および、生じ易い土質で、分類した。この表に基づいて、局所的な現象は、初期・境界値問題と捉えたと考えた。

一方、浸透破壊現象に対し、『破壊』の定義に問題があると多くの指摘がなされている<sup>1)</sup>が、概ね3つの基準が実用化されている<sup>3)</sup>。これらを、メカニズムと共にまとめたのが、表-2である。これら基準のうち、「クリープ比」はマクロな評価指標なので本研究では除外した。他2基準と、上述した全般的破壊現象との対応させると、限界動水勾配はアップリフトやヒービングに、ボイリングは限界流速に対応したメカニズムであると判断できる。以上から、本研究では代表的現象としてヒービングとボイリングを対象に検討を進めれば浸透破壊現象を網羅できると考え、それらに対応した限界動水勾配および限界流速を取り扱うことにした。

## 3. 試料の物理的性質および・試験方法

試料にはまさ土を所定の粒径範囲に調整したものを用いた。試料の粒径範囲および物理的性質を図-1に示す。試験は表-3に示すように4つのシリーズを実施した。

供試体は、アクリル製透水円筒に水中落下法で投入後、振

表-1 浸透破壊現象の分類

規模	土質	地表付近	地中
局所的	砂質土	パイピング	ルーフィング 地中侵食 細粒分の目詰まり
	粘性土	—	—
全般的	砂質土	ボイリング アップリフト	—
	粘性土	—	ヒービング

表-2 浸透メカニズム

基準	限界動水勾配	限界流速	クリープ比
力学系	土塊-動水圧の 極限平衡	土粒子-流体力の 極限平衡	実動水経路の水頭 差/経路水平距離 比
破壊の定義	土塊水中重量との 極限平衡	土粒子水中重量 との極限平衡	?
対応する現象	アップリフト ヒービング	ボイリング	?

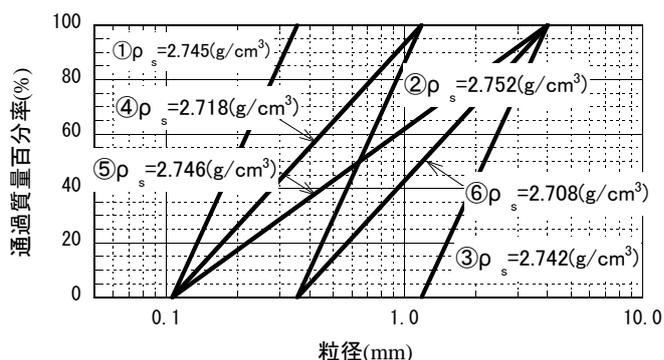


図-1 試料の粒度分布

表-3 試料と実験シリーズ

シリーズ1	Uc一定 D変化 ①、②、③
シリーズ2	D <sub>max</sub> 一定 Uc変化 ②、③、④
シリーズ3	D <sub>min</sub> 一定 Uc変化 ①、⑤、⑥
シリーズ4	間隙比e変化 e <sub>min</sub> 、e <sub>mid</sub> 、e <sub>max</sub>

キーワード：浸透破壊・限界動水勾配・限界流速・室内実験

連絡先(〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 TEL024-956-8709 FAX024-956-8858)

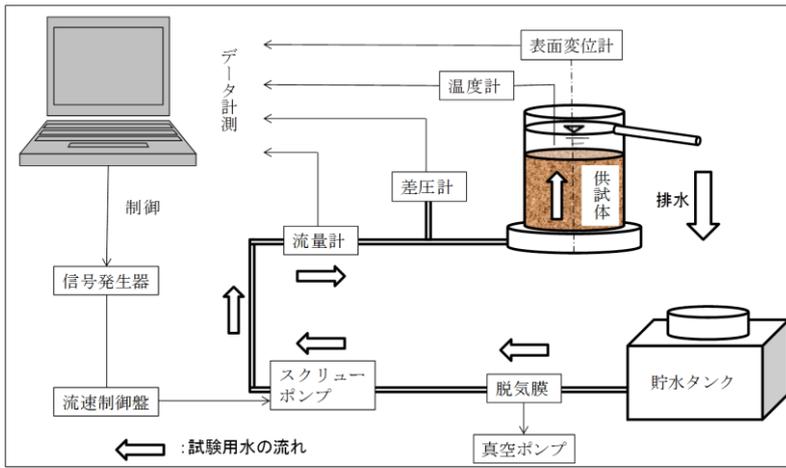


図-2 流速制御型浸透破壊試験装置の概略図

動台上で所定の時間、締固めて作成した。

試験はまず供試体を8時間以上の脱水脱気後、図-2に示す流速制御型浸透破壊試験装置にセットした。そして供試体下部から0.171ml/min(流速で0.002cm/sec)の割合で流量を増加するよう通水させ、400ml/minに達した後に0.650ml/minの割合で減少させた。この間、流量、差圧、温度、および表面の変位量を計測した。

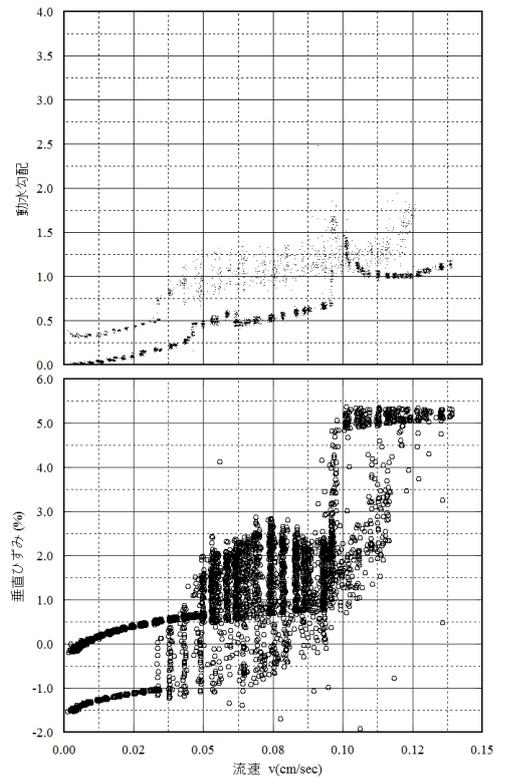


図-3 試験結果の一例

#### 4. 試験結果・考察

図-3に実験結果の一例を示す。ここで、流速は、間隙比  $e$  の供試体の間隙が全て有効間隙と仮定し、実験で作用させた平均流速を  $v_{test}$  とし、間隙中の平均流速を次式で評価した。

$$v = \left( \frac{e}{1+e} \right)^{\frac{2}{3}} v_{test} \dots (1)$$

この結果での動水勾配と流速の関係から、図-4に示すように、限界動水勾配と限界流速を評価した。すなわち、流速上昇過程での最初の変曲点での動水勾配を限界動水勾配  $i_c$ 、流速下降過程での最後の変曲点を限界流速  $v_c$  とした。これらは、計測した表面変位、および、実験中の観察からそれぞれ、アップリフトの開始点、およびボイリング終了点として確認をした。

図-5は、試験結果の一例として、粒径0.106~4mmの供試体について、間隙比と限界動水勾配、および、間隙比と限界流速の関係を示したものである。限界動水勾配は、間隙比が大きくなるに連れ、低下する傾向を呈したが、限界流速には間隙比との間に明瞭な関係が認められなかった。

#### 参考文献

1)長瀬迪夫(1987): 浸透破壊に対する考え方と破壊発生の条件—諸文献における記述と用例—, 応用地質年報, No9, pp. 43~124.

2)梅村 順(2009): 流速制御型浸透破壊試験装置の製作とそれを用いた限界流速・限界動水勾配の検討, 地盤工学会誌, 第57巻, 第9号, pp22—25.

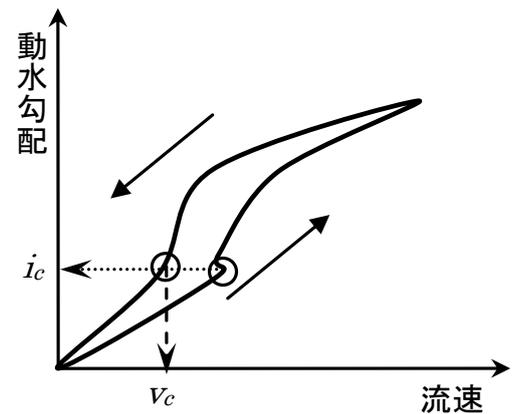


図-4 限界動水勾配  $i_c$  と限界流速  $v_c$  の求め方

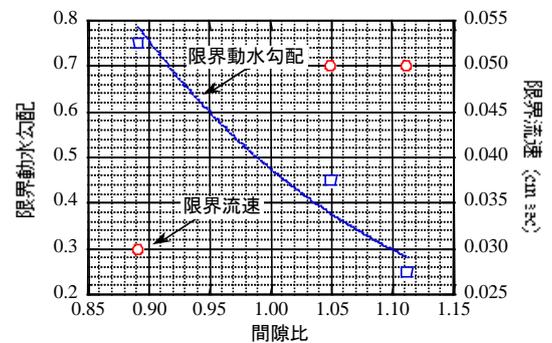


図-5 試験結果で得た限界動水勾配・限界流速と間隙比の関係