第 III 部門　　乾燥亀裂の発生過程における力学挙動に関する研究

京都大学大学院　学生員　○吉川　和秀
京都大学大学院　正会員　　澤田　茉伊
京都大学大学院　フェロー会員　　三村　衛

1．はじめに

土構造物の損傷は，湿潤過程と乾燥過程の両方で生じる．すなわち，湿潤過程では降雨・地下水の浸透や浸食，一方の乾燥過程では，亀裂の発生や脆化によって，力学的安定性が損なわれる．屋外の土構造物では，浸潤過程の損傷が主であるが，遺跡や災害遺構を降雨がかからない環境で維持する場合には，乾燥過程の損傷が卓越する．本研究では，これらのうち，乾燥過程に着目し，乾燥亀裂の発生過程の力学挙動を明らかにすることを目的とする．亀裂の発生過程で生じる内部応力を測定するための乾燥収縮応力試験を実施し，試料の初期含水比と乾燥速度が亀裂の発生に与える影響を考察する．

2.　乾燥収縮応力試験

乾燥亀裂の発生過程の内部応力を**図-1** に示す供試体（200mm×50mm×20mm）を用いて測定する．供試体内部に埋め込んだ拘束部材（**図-2**）は，長さ方向の収縮を妨げる役割を担っている．両端は，供試体に定着しているが，中央部は非定着で，収縮可能な条件としている．本研究では拘束部材としてアルミ板材を用いた．**図-2** に示すように定着領域には摩擦抵抗を増大させるために珪砂 5 号を用い，非定着領域には張り付けたひずみゲージの上からテフロンシートを張り付け，シリコンオイルを塗布して摩擦抵抗を低減している．

図-3 に測定原理図を示す．供試体を恒温恒湿槽で乾燥させると，非定着領域の土は収縮しようとするが，これを妨げる拘束部材には圧縮力が働く．この圧縮力の反作用として，土断面には引張力が生じ，引張強度を超えると，亀裂が生じる．この亀裂が発生する過程での拘束部材の圧縮応力をひずみゲージで測定したひずみ量から算出することによって，土断面に生じる引張応力を求めることができる．

実験試料はまさ土（2mm ふるい通過分）を用いた．試料の諸量を**表-1** に，粒径加積曲線を**図-4** に示す．供試体は所定の含水比に調整した試料を乾燥密度が 1.37g/cm^3 になるように，2 層に分けて締固めを行い，中央での亀裂を誘導するために，中央部に幅 1 ㎜，深さ 1 ㎜程度の溝を入れた．

本研究で設定した試料の初期含水比と恒温恒湿槽で管理した温度および相対湿度環境を**表-2** に示す．表に示すケース A とケース B の結果を比較することで初期含水比の影響を，ケース A とケース C の結果を比較することで乾燥速度の影響を検討する．なお，ケース A の結果は既往研究 [1)]の結果を参照する．

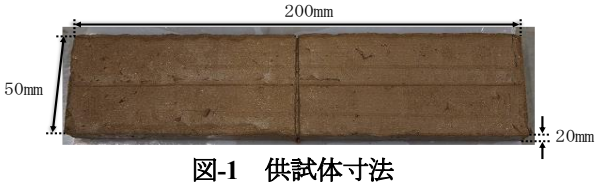

図-1　供試体寸法

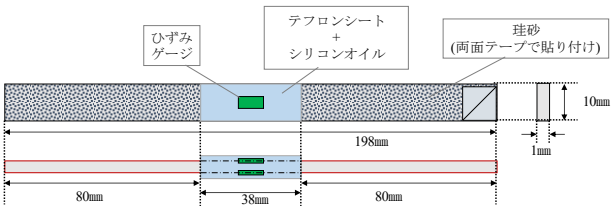

図-2　拘束部材概要図

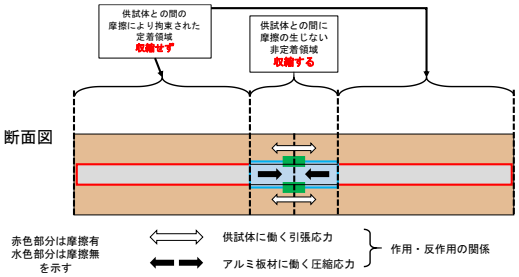

図-3　測定原理

表-1　試料物理量

物理量	数値
細粒分含有率	42 %
乾燥密度	1.37 g/cm^2
土粒子密度	2.64
自然含水比	29 %
収縮限界	25.15 %
塑性限界	23.09 %
液性限界	37.87 %
塑性指数	14.79

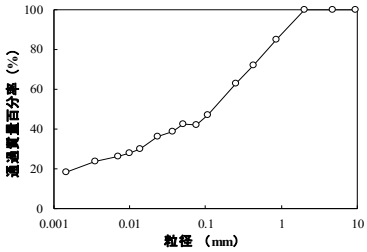

図-4　粒径加積曲線

表-2　実験条件

条件＼ケース		A	B	C
初期含水比	%	29	29	23
温度	℃	20	20	20
相対湿度	%rh	60	90	60

Kazuhide YOSHIKAWA, Mai SAWADA and Mamoru MIMURA
yoshikawa.kazuhide.74z@st.kyoto-u.ac.jp

3.　初期含水比の影響

土断面の引張応力の推移を**図-5** に示す．乾燥に伴って，引張応力は増大し，亀裂が生じると，急速に低下している．各条件で繰返し実験を行って得られた，亀裂発生時の含水比と引張応力の関係を比較したものを**図-6** に示す．また，図中には別途行った直接引張試験で得られた引張強度指数近似線を示す．乾燥に伴うサクションに起因した土粒子間力の増大によって，引張強度は増大する．初期含水比によらず，初期から 2～6%程度含水比が減少した時点で，亀裂が発生し，その時の引張応力は，引張強度と同等であることから，強度に達すると亀裂が発生していることがわかる．

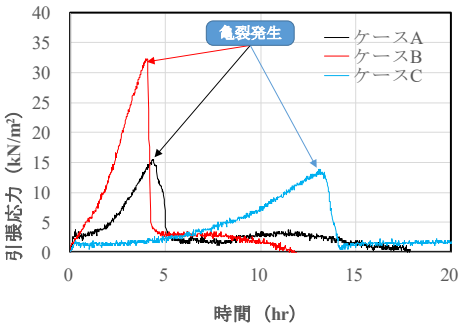

図-5　引張応力推移

また，同様に亀裂発生までの時間と亀裂発生時の含水比の関係をケース A とケース B で比較したものを**図-7** に示す．比較結果によると，ケース B の結果がややバラつきが大きいものの，全体的な傾向としてはケース B の場合，やや早い時間で亀裂が発生していることが見て取れる．これは，初期含水比が低い分，乾燥に伴う強度の発現が早い一方，剛性の発現も早いため，**図-5** に示すように，単位時間当たりの引張応力の増分が大きくなるためと考えられる．

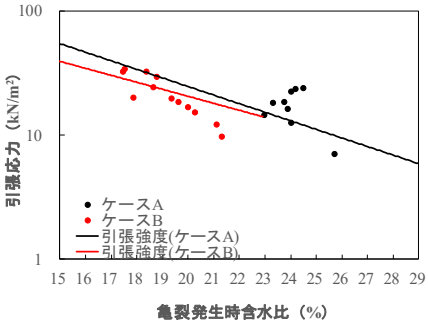

図-6　亀裂発生時含水比-応力関係 (ケース A と B)

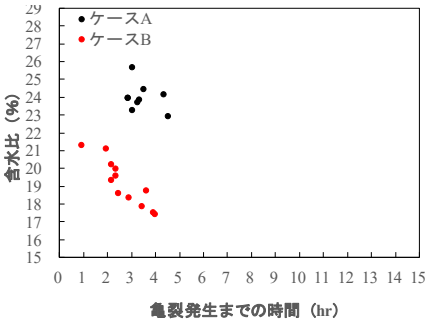

図-7　亀裂発生までの時間-含水比関係(ケース A と B)

4.　乾燥速度の影響

供試体表面からの蒸発は，土と大気のポテンシャルの勾配に比例するが，本実験では，大気の相対湿度を変化させて，乾燥速度を変えた場合を比較した．ケース A と C での亀裂発生時の含水比-応力関係を比較したものを**図-8** に示す．比較結果から，乾燥速度を変更しても亀裂発生時の含水比と，そのときの内部応力は同等であることが分かる．ただし，亀裂の発生までの時間には明確な差異が見られる．亀裂発生までの時間と亀裂発生時応力の関係の比較図を**図-9** に示す．より，相対湿度を高くしたケース C の方が，亀裂発生までにかかる時間が長くなっていることが分かる．

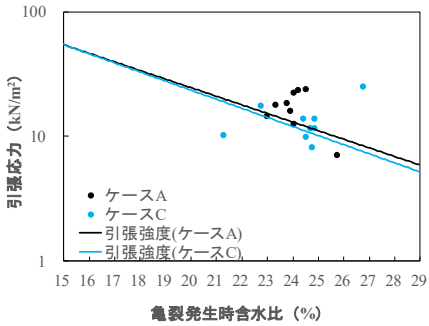

図-8　亀裂発生時含水比-応力関係 (ケース A と C)

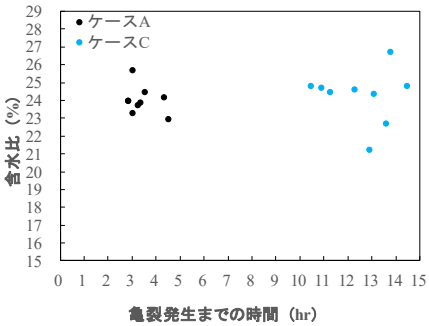

図-9　亀裂発生までの時間-含水比関係(ケース A と C)

5.　まとめ

土の乾燥亀裂の発生過程で生じる内部応力を測定し，初期含水比と乾燥速度が亀裂の発生に与える影響を調べた．初期含水比によらず，初期からの含水比の低下量が同程度の時に，土内部に生じる引張応力が引張強度に達し，亀裂が発生した．ただし，発生までの時間に関しては，初期含水比の低い場合の方がやや短い傾向が見られた．乾燥速度については，亀裂発生時の含水比および内部応力には影響しないが，亀裂が発生するまでの時間は相対湿度を高くした場合の方が長くなる．本研究では湿度と初期含水比の影響を調べたが，試料の粒度や供試体密度なども亀裂に影響を与えると考えられるため，検証が必要である．

参考文献：1) 角裕介，澤田茉伊，三村衛：乾燥過程における土の力学特性と亀裂の発生メカニズムに関する研究，第 54 回地盤工学研究発表会，2019