# 降雨の作用を受けた 多数アンカー式補強土壁の損傷確率

# 林豪人1・篠田昌弘2・東野圭悟3・久保哲也4

# 藤田智弘5・中村洋丈6・角田晋相7

ジオテキスタイル補強土壁の降雨による損傷の確率論的評価の降雨ハザードを参考に,他の形式の補強土壁 である多数アンカー式補強土壁を対象として,損傷確率を定量的に評価した.多数アンカー式補強土壁のフラ ジリティは,地盤強度定数を正規分布に従う確率変数として背面水位を与えてモンテカルロシミュレーション によって求めた.それらの降雨ハザードとフラジリティを用いて損傷頻度を求めた.その結果,他の形式の補 強土壁もジオテキスタイル補強土壁と同様に降雨による損傷確率を評価することが可能であること,安全率に 余裕のある補強土壁は損傷確率が比較的小さくなることを定量的に示すことができた.

キーワード:補強土壁,フラジリティ曲線,確率論的リスク評価

## 1. はじめに

他の土工構造物と同様に,近年頻発している大地震や, 想定を上回る降雨強度の豪雨が補強土壁の安定性に与え る影響が懸念されている.地震動が補強土壁に与える影 響については,1995年に発生した兵庫県南部地震以降, これまで精力的に行われてきた.一方で降雨の作用によ る影響の分析は,変状事例のケーススタディー<sup>10</sup>や小型 模型実験<sup>20</sup>が行われてはいるものの,事例報告や地震動 との複合作用を対象にしており,地震に関する研究と比 較して十分とは言い難く,降雨の作用による補強土壁の 損傷リスクを定量的に示し,排水工の重要性を認知させ ることが必要である.

既往の研究のうち、文献3)では降雨ハザードを用いて ジオテキスタイル補強土壁の確率論的リスク評価を実施 している.降雨作用のハザード評価は日降水量の最新の アメダスデータを用いて統計解析により求め、フラジリ ティ評価はモンテカルロシミュレーションによりジオテ キスタイル補強土壁の損傷頻度評価を行い、補強土壁の 残余のリスクを評価した.その結果、降雨の作用による ジオテキスタイル補強土壁の損傷確率を定量的に示すこ とが可能であり、背面水位の上昇に伴い補強土壁の損傷 する確率が高まることを定量的に示した. ここでは同様の手法の汎用性の高さを確認するため, ジオテキスタイル補強土壁以外の補強土壁であるアンカ ー補強土壁を対象とし,背面水位を与えてモンテカルロ シミュレーションを実施し損傷頻度を求めた.なお,文 献3)では補強材の強度を調整し設計時の安全率を必要安 全率に近づける等,現実の設計とは異なる手法を用いて いたが,本研究ではそのような調整をせず,現実の設計 で用いる部材強度を用いた.なお部材強度をそのまま用 いる手法はジオテキスタイル補強土壁にも適用可能であ ると考えられる。

## 2. 対象とする補強土壁

本研究で対象とする補強土壁を図-1に示す. 多数ア ンカー式補強土壁はコンクリート製の壁面材と鋼製のア ンカープレート及びタイロッドで構成される構造である. 壁面材は寸法は高さ lm,幅 1.5m,厚さは 115mm である. アンカープレートの寸法は 300mm 四方である.タイロ ッドの径は 16~25mm である.高さ方向と延長方向のそ れぞれの補強材間隔は 1.0m及び 0.75m である.

本研究で用いた解析モデルを図-2に示す.いずれも 水平地盤上に位置し,壁高を4m,8m,12mの3種類とし

```
<sup>1</sup>正会員,岡三リビック株式会社 技術開発部(〒108-0075 東京都港区港南1-8-27)

<sup>2</sup>正会員,防衛大学校システム工学群建設環境工学科 建設環境工学科(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

<sup>3</sup>正会員,中央開発株式会社,ソリューションセンター 情報事業部(〒169-8612 東京都新宿区西早稲田3-13-5)

<sup>4</sup>正会員,前田工繊株式会社,開発営業推進本部 補強土排水推進部(〒919-0422 福井県坂井市春江町沖布目38-3)

<sup>5</sup>正会員,元土木研究所 地質・地盤研究グループ(〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

<sup>6</sup>正会員,中日本高速道路株式会社 東京支社 秦野工事事務所(〒257-0017 神奈川県秦野市立野台1-4)

<sup>7</sup>正会員,株式会社錢高組 技術本部(〒102-8678 東京都千代田区一番町31)
```



表-1 設計条件

	項目	平均值	変動係数 (%)
	単位体積重量 (kN/m³)	19	5
盛土材	内部摩擦角 (deg)	30	10
	粘着力 (kN/m²)	10	10
基礎地盤	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	19	0
	内部摩擦角 (deg)	35	0
	粘着力 (kN/m²)	100	0
	設計水平震度	0.15	-
	活荷重 (kN/m²)	10	0

た.補強材の長さと強度は,表-1に示す土質定数の平均値および水平震度を用いて,主に道路で用いる補強土 壁に適用される「多数アンカー式補強土壁設計・施工 マニュアル」<sup>4</sup>の設計手法に従い決定した.その際,盛 土内水位は0mとした.なお,補強土壁の天端から10m の範囲に活荷重を考慮した.

## 3. 補強土壁の損傷頻度評価

#### (1) フラジリティ評価

図-2に示す解析モデルを用いて,試行回数1万回の モンテカルロシミュレーションを実施した.ここでは降 雨量に応じたフラジリティを求めるために,背面水位を 0m,壁高の1/4,壁高の2/4,壁高の3/4と変化させて補 強土壁の損傷確率を求めた.なお本来であれば浸透流解 析等に基づく浸潤線を水位線とした方が実現象に近いが、 ここでは単純化のため水位線は盛土内で水平であると仮 定した。算定結果を表-2から表-4に示す.背面水位 の上昇に伴い,損傷確率が増加していることが分かる.

表-2 壁高4mのモンテカルロシミュレーションの結果

背面水位	安全率が 1.0 以 下となる回数	損傷確率 (%)
0	3	0.003
壁高×1/4	5	0.005
壁高×2/4	12	0.012
壁高×3/4	24	0.024
壁高×1/4 壁高×2/4 壁高×3/4	5 12 24	0.005 0.012 0.024

表−3	壁高8mのモン	/テカルロシミ	ュレーシ	ョンの結果
-----	---------	---------	------	-------

背面水位	安全率が1.0以 下となる回数	損傷確率
0	<u>「こなる国</u> 威 15	0.015
壁高×1/4	55	0.55
壁高×2/4	169	1.69
壁高×3/4	781	7.81

表-4 壁高12mのモンテカルロシミュレーションの結果

背面水位	安全率が1.0以 下となる回数	損傷確率 (%)
0	22	0.00
0	22	0.22
壁高×1/4	71	0.71
壁高×2/4	176	1.76
壁高×3/4	1260	12.6

ここで、後の損傷頻度評価で必要となるフラジリティ の近似曲線を作成する.使用する近似曲線は、解析結果 と近似度が高く且つ背面水位の増加に伴い、損傷確率が 1.0 に漸近しなければならない.本研究では下式の Weibull 分布を基にした非線形関数を用いることとする.

$$P_f(y) = y_0 + (1.0 - y_0) \int_0^y ba^{-b} t^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right\} dt$$
(1)

4.5

ここで、*P<sub>f</sub>*(*y*)は損傷確率、*y*は背面水位 (m), *y*, *a*, *b*は パラメータである.式(1)のパラメータの設定にあたっ ては、背面水位 0 mの損傷確率を y<sub>0</sub>とした.同定したパ ラメータを表-5に、同定結果を図-3にそれぞれ示す. 図-3より同定したフラジリティ曲線は解析結果を良く 表現できていることが分かる.

表-5 フラジリティ近似曲線のパラメータ

壁高(m)	$\mathcal{Y}_0$	а	b
4	0.00003	8.75539	5.82124
8	0.00150	11.38346	3.94910
12	0.00220	13.24706	5.22997
0.2			



式(1)は背面水位に対する損傷確率を表しているが, 後述するハザード曲線は日降水量に対する発生頻度(ハ ザード)である.すなわち,式(1)で用いた背面水位を 日降水量に変換する必要がある.本来ならば,現場にお ける観測値や数値解析結果等で背面水位と日降水量の関 係を把握する必要があるが,本研究では文献3)と同様に, 簡便に下記の関係があると仮定した.

$$y = wx \tag{2}$$

ここで,wはパラメータである.本研究では文献 3)と同様に,600 mm/dayの日降水量で背面水位が 9 m に上昇すると仮定して w=15/1000 を用いることとした.

#### (2) 損傷頻度評価

本研究では文献3)と同様に、ハザードの近似曲線及び

そのパラメータを, それぞれ式(3), (4)および**表-6**とした.

$$H(x) = 10^k \tag{3}$$

$$k = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x^{\gamma}}{1 + \beta \cdot x^{\gamma}}$$

ここで, *H*(*x*)は発生頻度(ハザード), *x* は日降水量(mm)である.

表-6	ハザー	ド近似曲線のノ	ペラ	メータ
-----	-----	---------	----	-----

-	• / /		/
観測所	α	β	γ
東京	-1.58207	1.72398×10 <sup>-9</sup>	4.11594
高知	-1.64527	4.17515×10 <sup>-11</sup>	4.4401

ハザード曲線H(x)は式(3)で与えられ,フラジリティ曲線P<sub>f</sub>(x)は,式(1)と式(2)から求められる.文献3)を参考に,補強土壁の損傷頻度は,下記により求められる.

$$P_f = \int_0^\infty H(x) \frac{dP_f(x)}{dx} dx$$

(5)

(4)

ここで,式(5)の損傷確率の微分項は下記のように求められる.

$$\frac{dP_f(x)}{dx} = (1.0 - y_0)a^{-b}bw^b x^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{wx}{a}\right)^b\right\}$$
(6)

適切なパラメータを表-5と表-6から設定した後,式 (3)と式(6)を式(5)に代入することで損傷確率を求めた. ただしここでは水位は壁高を超えないとし,計算上壁高 を超える水位 y の場合の損傷確率の微分項は,水位が壁 高と等しい場合の値と同一とした.

ここで、日降水量の変化に応じた補強土壁の損傷頻度 の変化を考察する.ここでの損傷頻度は、降雨ハザード に損傷確率の微分値を乗じたものである.図-4に日降 水量に応じた損傷頻度を示す.東京と高知とも、壁高 4mと壁高8mの損傷頻度を比較すると、日降水量の大小 に拘わらず壁高8mの損傷頻度の方が高いことが分かる. 壁高4mでは補強材の配置や強度が構造細目で決定され、 結果的に設計の安全率が高いことから、損傷確率が低く なることがその要因である.また東京と高知の損傷確率 を比較すると、データ数が比較的多い日降水量 300mm/day までの範囲では、高知の損傷確率の方が高い. 高知の降雨ハザードの方が高いことがその要因である. 日降水量が400mm/dayを超えると近似曲線のフィッティ ングの関係上、逆に東京降雨ハザードの方が大きくなり、 結果的に東京の損傷頻度の方が若干大きくなる.

図-5に日降雨量 300mm/day までの損傷頻度を示す. 東京,高知とも,壁高8mの補強土壁が最も損傷頻度が 高い結果となった.これは前述した通り,壁高8mの安 全率の余裕が比較的小さいためである.東京と高知で比 較すると高知の方がハザードが大きいため,損傷頻度は



図-4 日降水量に応じた損傷頻度, a)東京, b)高知 高知の方が大きくなる. その差は 2~3 倍程度であった.

#### 4. まとめ

本研究では、補強土壁の一種である多数アンカー式補 強土壁の降雨の作用による損傷確率を算出し評価した. 具体的には多数アンカー式補強土壁のフラジリティ評価 を行い、すでに既往の研究で求められた降雨によるハザ ード評価を参考にして、両者を考慮して損傷頻度評価を 行った.その結果、壁高 8m の多数アンカー式補強土壁 が最も損傷頻度が高い結果となった.これは低い壁高の 補強土壁は安全率に余裕があるのに対して、壁高 8m で は設計時の安全余裕度が比較的小さいこと、またより高 い壁高の補強土壁の場合は水位が上昇するのに比較的多



くの雨量が必要になるためである考えられる.部材の強度を調整した文献3)と異なり、安全率の余裕の差が認められる。また東京と高知を比較すると、降雨ハザードの大きい高知の損傷頻度の方が2~3倍高い結果となった.本研究により、ジオテキスタイル補強土壁と同様に多数アンカー式補強土壁も降雨ハザードを考慮した損傷頻度を求めることができること、設計時の安全率に余裕があれば、損傷頻度を下げることが出来ることが定量的に評価できた.

謝辞:本研究の成果は、IGS日本支部 ジオテキスタイ ル技術委員会 第7ステージ(2016-2018)の成果に基づ いている.3ヵ年の活動にはIGS日本支部から支援をいた だいた.支部の皆様にここに記して感謝の意を表したい.

#### 参考文献

- 中村洋丈,宮田喜壽,篠田昌弘,弘中淳一,竜田尚希:ジオグリ ッド補強土壁の降雨に伴う変状事例分析,ジオシンセティ クス論文集,第28巻,pp295-302,2013.
- 小林睦,三浦均也,小浪岳治:降雨時におけるアンカー式 補強土壁の安定性に関する研究,地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.3, pp477-488, 2013.
- 3) 篠田昌弘,東野圭悟,久保哲也:降雨ハザードを用いた補 強土壁の確率論的リスク評価,ジオシンセティクス論文集, 第33巻,pp139-144,2018.
- (一社) 土木研究センター:多数アンカー式補強土壁設計・ 施工マニュアル第4版, 2014.

# PROBALILISTIC RISK ASSESSMENT OF MULTI-ANCHORED REINFORCED SOIL WALL AFFECTED BY RAIN FALL

## Taketo HAYASHI, Masahiro SHINODA, Keigo AZUNO, Tetsuya KUBO, Tomohiro FUJITA, Hirotake NAKAMURA and Shinsuke TSUNODA

By using the method of probabilistic risk assessment for Geotexile Reinforced soil wall affected by rain fall, this paper shows the damage probability of Multi-anchored Reinforced Soil Wall, which is a type of reinforced soil wall other than Geotexile Reinforced soil wall. As results, we revealed that it is possible to apply the method to the other type of reinforced soil wall and damage probability of the reinforced soil wall which has high allowance of factor of safty is relatively low.

KEYWORDS: Reinforced soil wall, Damage frequency, Probabilistic risk assessment