

集中豪雨におけるノンフレーム工法の斜面安定性に関する検討

日鐵住金建材（株） ○副田尚輝、衛藤智徳
堀 謙吾、岩佐直人

1、はじめに

平成 8 年に長崎県でノンフレーム工法（以下 NFM と記す。）が初めて施工されて約 20 年経過し、現在では治山技術の一つとして広く認知されて全国で採用されている。一方 H26 年広島豪雨災害、H29 年九州北部豪雨災害、H30 年西日本豪雨災害等、近年集中豪雨による土砂災害が多数発生して大きな被害をもたらしているが、NFM 施工箇所の崩壊は確認されていない。

また、近年の豪雨災害の特徴としては、流木を含む土石流・土砂流が多く発生しており、NFM は集中豪雨に対し、流木災害発生区域での山腹崩壊発生防止の役割が求められる。

そこで、実大模型斜面降雨実験と集中豪雨履歴のある施工斜面調査結果を踏まえ豪雨時における NFM の斜面安定性について報告する。

2、実大模型斜面降雨実験概要

実験斜面は、高さ 5m×幅 9m、斜面角度 40°、斜面底面は厚さ 10cm 程度のモルタルで被覆され、約 50cm 間隔で高さ 10cm 幅 30cm の突起が設けられた斜面であって、斜面のり尻の底面には砂利を敷いて排水層としている。試料は、筑波産まさ土（自然含水比 4.8%、粘着力 0kN/㎡、内部摩擦角 37°）を用い、1m 層厚で構築した。計測機器は図 2-1 の通り、水位計および変位（伸縮）計を設置し、上段・中段・下段それぞれの水位および斜面変位を計測した。降雨は事前降雨 30mm/h を約 3 時間与え、本降雨時では、表面浸食が発生する兆候があったため、開始約 7.5 分後に降雨強度 50mm/h から 40mm/h に変更し、285 分後に法先を非排水条件に変えて地下水を上昇させて崩壊させた。

図 2-2 に降雨開始からの時間と斜面変位量及び斜面中段地下水位との関係を示す。斜面変位は地下水位が 10cm 程度になった段階（降雨開始 130 分頃）から生じ、斜面中段の水位が 45cm 程度になった段階（降雨開始 320 分頃）で斜面全体が一体となって崩壊した。（写真 2-2 参照）

ここで、図 2-3 に水位と安全率および対策工の有無の関係を示す。本来、対策工の効果については無対策の実験結果と比較する方法がより良いが、異なる降雨条件で実施したため、本研究では設計計算にて対策工の有無の違いについて示すものとする。計算方法は以下

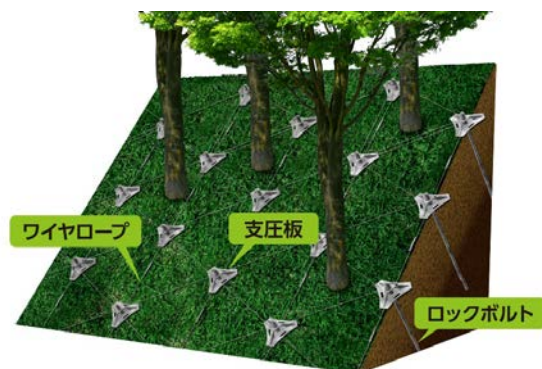
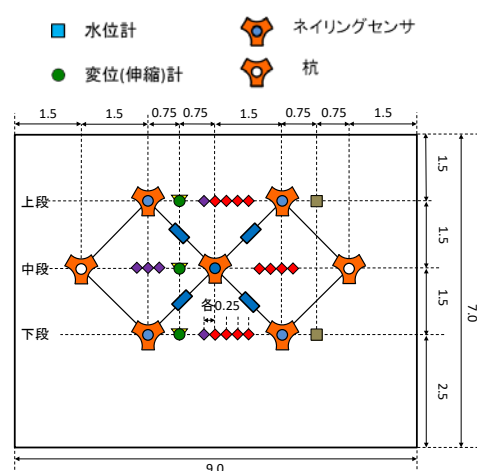
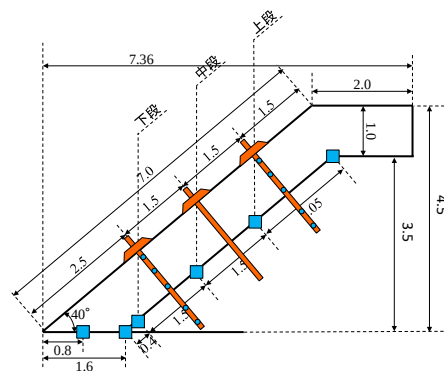


図 1-1 ノンフレーム工法イメージ図



a) 斜面平面図



b) 断面図

図 2-1 実大模型斜面降雨実験概要

に示す通りとする。

＜計算方法＞

- ① 対策工の水位 45cm の状態を安全率 1.0 と仮定。
(実験にて水位が 45cm に達した点で崩壊したため)

$$② \quad F_s = \frac{\Sigma c\ell + \Sigma \{ (W \cos \theta - ub) \tan \Phi \} + Tr}{\Sigma W \sin \theta}$$

ここで、Fs：安全率

c：粘着力

ℓ：すべり面長さ

W：すべり土塊土塊重量

θ：斜面勾配

u：間隙水圧

b：すべり土塊の幅

Tr：対策工による抑止力

Fs=1.0 を代入し、移動層の粘着力 c を逆算

- ③ ②で求めた c を用いて、対策有・無の場合および水位
0~50cm の際の安全率を算出

図 2-3 より、対策工を施した斜面では水位が 0 のときに安全率 1.46 であり、水位が上がるに連れて安全率が低下し続け、水位 45cm で安全率 1.0 となる結果となった。一方、無対策の斜面では水位が 0 のときに安全率がほぼ 1.0 であり、水位が上がると安全率 1.0 を下回る結果となった。

よって、本実験においては、対策工を施すことによって安全率が約 1.5 割向上し、移動層厚 1m の内、水位が 45cm 程度上昇するまで崩壊が起きなかったことがわかった。

なお本実験は（独）防災科学技術研究所、立命館大学及び鹿児島大学との共同研究であり、本報告はその結果の一部を再整理したものである。



写真 2-1 実大模型斜面降雨実験状況

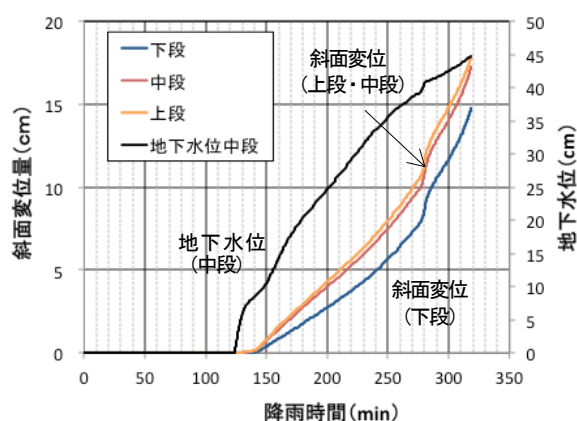


図 2-2 降雨時間と斜面変位量・地下水位（中段）の関係

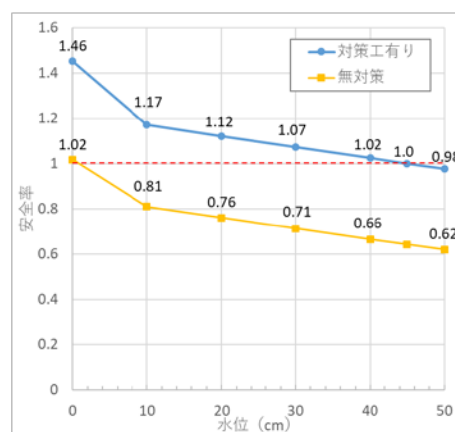


図 2-3 水位と安全率の関係



写真 2-2 斜面崩壊状況

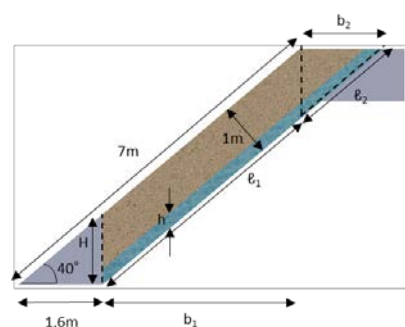


図 2-4 安全率計算時のモデル

3、降雨時における NFM 施工地事例

集中豪雨を記録した広島県および長崎県の NFM 施工地の調査を実施した。

3-1、広島県 NFM 施工地事例

広島県 NFM 施工地調査は、平成 30 年 8 月 30 日に計 7 箇所（表 3-1 参照）の NFM 施工地を調査した。図 3-2 に調査箇所周辺の主要地点における降雨履歴を示す。図 3-2 より、日降水量は竹原と本郷で 7 月 6 日に 200mm/day を記録し、1 時間降水量は福山を除く 3 地点で 7 月 6 日に 50mm/h を記録しており、特に呉では 7 月 6 日、7 日の 2 連続で 50mm/h を記録している。

調査結果は、写真 3-1 に調査状況を示す。いずれの施工地でも崩壊等の斜面変状は見られなかった。しかし、上部緩斜面から下部急斜面に変わる傾斜変換点に支圧板が設置されている場合等、一部の支圧板に浸食が確認された箇所もあった。なお、NFM 施工地の斜面には基本的に落葉が堆積しており、支圧板とワイヤーで落葉・落枝等のリターを捕捉する効果があると推測でき、NFM にはある程度の浸食防止効果があると考えられる。

表 3-1 広島県 NFM 施工地調査箇所

No.	場所	施工面積 (m ²)	施工時期
1	福山市大門町	10,276	H10.7~H11.3
2	福山市鞆町	1,591	H25.10~H26.1
3	尾道市栗原町	1,187	H28.9~
		1,052	H29.9~
4	三原市沼田	1,146	H25.10~H25.11
5	呉市川尻町	1,003	H12.7~H13.4
6	呉市安浦町	2,838	H11.2~H13.10
7	呉市安浦町	1,006	H11.3~H11.9



図 3-1 調査箇所および降水量観測地

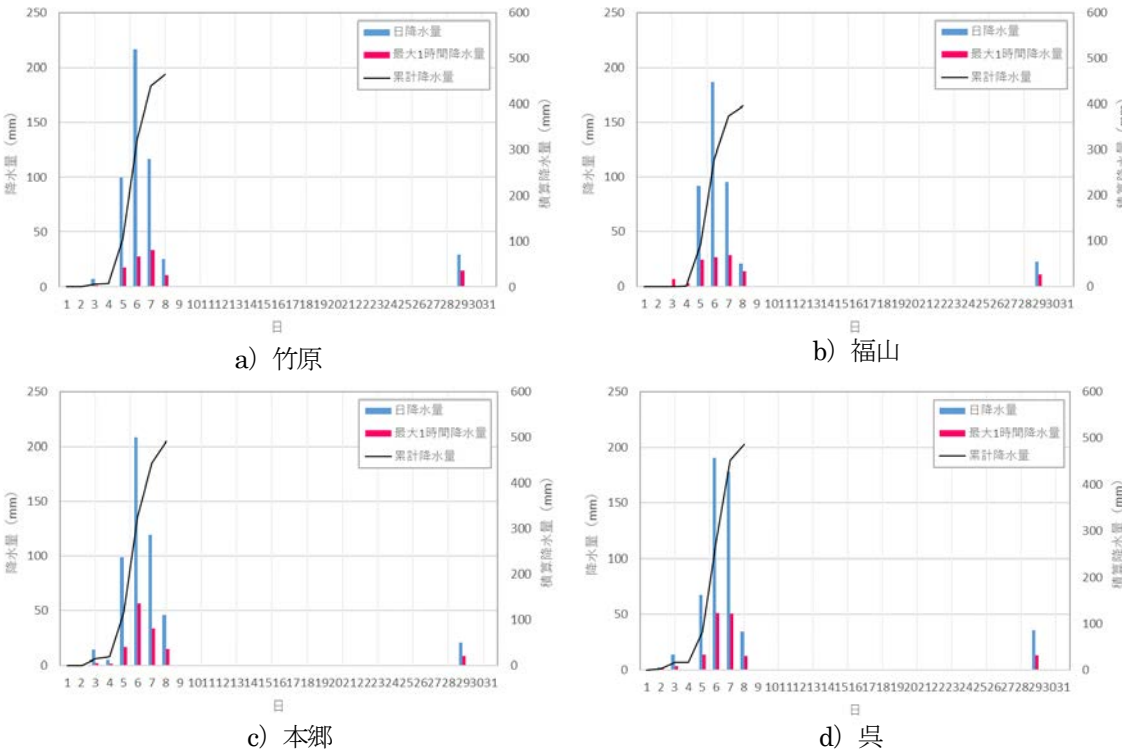


図 3-2 調査箇所付近の降水量(2018 年 7 月)



No.3 尾道市栗原町
(上: 全景、下: 支圧板洗堀状況)



No.1 福山市大門町
(上: 全景、下: 斜面状況)

No.2 福山市鞆町
(上: 全景、下: 斜面状況)



No.5 呉市川尻町 (全景)



No.4 三原市沼田
(上: 全景、下: 斜面状況)

No.6 呉市安浦町
(上: 全景、下: 斜面状況)



No.7 呉市安浦町 (斜面状況)

3-2、長崎県 NFM 施工地事例

長崎県 NFM 施工地調査は、福田地区、広刈地区、梶原地区の計 3 箇所実施した。写真 3-2 に調査状況を示す。これらの施工地でも平成 29 年九州北部豪雨や平成 30 年 7 月豪雨等の集中豪雨を経験しているが、特に福田地区は NFM 初施工現場であり平成 8 年 4 月に施工されたため、過去多くの降雨履歴を受けてきた（図 3-3 参照）。しかしながら落葉や落枝等の堆積の効果もあって斜面浸食も発生していない、NFM の効果斜面変状は認められなかった。

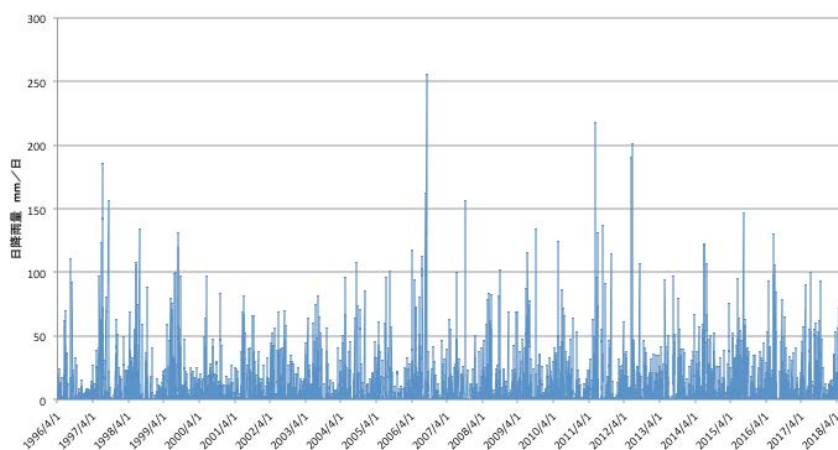


図 3-3 福田地区 降雨履歴（1996.4.2~2018.7.31）



写真 3-2 長崎県 NFM 調査箇所状況

4、まとめ

実大模型斜面降雨実験及び豪雨履歴のある斜面調査結果より、NFM の耐降雨性が高いことを確認することができた。今後は更なる地形・植生等斜面データを収集して NFM の斜面安定効果について整理していく予定である。

謝辞：長崎県事例とりまとめでは長崎県中央振興局の方々にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。