

5. 検討結果

急傾斜地崩壊対策用待受け式擁壁は、事業法としての急傾斜地法に基づくハード対策である。しかし、その設計パラメータとしては、平成 12(2000)年土砂災害防止法立法時の包括的な事例分析結果を反映して、ソフト対策用の「基礎調査の手引き(急傾斜地の崩壊編)」中の告示式の参考値を使用している。本資料では改めて同法制定後の各種調査、文献整理を行い、その妥当性を検討した。結果として、現在まで参考にされてきた値は妥当であり、修正すべき理由はなかった。擁壁の安定性評価の観点から、設計パラメータセット中、現行の擁壁設計において外力となる移動の力の算出に与える影響の大きなものは、まずは現地地形条件である。これについてはレーザープロファイラ(LP)に基づく詳細な地形図等の使用により裁量の余地なく暫時改善しつつある。そこで、統計データの偏差量を考慮し、地形条件を標準的な範囲に絞って詳細に分析した。すると、急傾斜地の高さ H 、流体抵抗係数 f_b 、土石の移動高さ h_{sm} が影響の大きさに上位 3 つとなった。統計上の発生頻度を考慮すると、流体抵抗係数の影響が相対的に大きいと考えられた。

動的解析として、標準的な有限要素法を適用し、選定した損傷事例において、実測された転倒の程度の再現性を検討した。これは転倒の方が滑動よりも厳しい条件であることと、信頼性のある実測資料が利用出来たためである。動的解析においては、静的解析に比べて、変位増大をより連続的に示すことが出来た。一方、転倒条件における損傷の判定基準については、これまでに定見がないため、本資料では試みに下流側法勾配が鉛直方向に対して約 $1/10$ 、概ね $2\sim 3^\circ$ 程度、の回転をした場合に損傷したものとみなして検討した。その結果、一定の再現性を確認出来た。より大きな変位を再現する場合には個別要素法等を適用することが考えられるが、被災状況は厳密には判明しないので今回は行っていない。

本資料での有限要素法では地盤変形にニューマーク法を取り入れた STADAS によって取り込んでおり、感度分析からは N 値で 10 以下に相当するせん断弾性係数を用いるのが適当と考えられた。再現した鹿児島県・常盤 2 地区については、 N 値で 5 相当のせん断弾性係数を用いると大変形が良く再現出来、地盤の塑性変形による擁壁全体の強度増分は約 $4\sim 8$ 割と推算された。今回は擁壁について剛体仮定を置いており、地盤での受け持ち分を大きく評価したと言える。

本資料では地盤の塑性変形を含め、動的解析の一種として標準的な有限要素法を適用し、待受け式擁壁損傷事例を転倒条件について再現した。現行の静的解析の設計手法では、告示式に示されたソフト対策用の想定最大としての外力を、これまでの被災実態で擁壁がほとんど損傷していないことを勘案して、急傾斜地崩壊対策分野独自の「衝撃力緩和係数 α 」により $1/2$ に割り引いて設計外力としている。文献調査及び本資料での各パラメータの感度分析を踏まえると、これまで想定最大の半分を超える外力に晒された事例が僅少なことは、少なくとも下記の 3 つの影響が 1 つまたは複数関係したためと考えられた。

- ① 荷重の空間分布：斜面規模や崩壊面形状により荷重の空間分布が考慮できる場合、衝撃力は空間分布を考慮しない場合の 0.8 倍程度となること。即ち、現行設計法では考慮していない、擁壁に作用する衝撃荷重の横断方向の不均一性があること。
- ② 地盤の塑性変形：地盤の塑性変形を動的解析において考慮すると、擁壁に加わる（衝撃）力は塑性変形を考慮しない場合の 0.5～0.7 倍程度となること。即ち、静的解析では考慮されない、地盤が塑性変形することによるエネルギー吸収があること。
- ③ 崩壊土砂の流動化：斜面条件から崩壊土砂が流動化しないと判断できる場合、流体抵抗係数を 0.025 から 0.06 に変更とすると、衝撃力は変更しない場合の 0.4～0.8 倍程度となること。即ち、崩壊土砂が現行の想定よりも流動化しない場合が多いこと。

現行の静的解析による設計手法では、被災実態の経験と少数の事例分析によって、想定最大の半分を設計外力として与えている。本資料での検討の範囲では、静的解析手法でも危険側にはなっていなかった。しかし、現地調査が十分になされない場合や、設計パラメータを各種マニュアルから無批判に設定するリスクを考えた場合、損傷の様態や程度を定量化出来る動的解析の方が、説明性の観点で優れている。施設の改築・改良時の壁高増しや幅増し等の寸法増減も変位に反映出来て、安全率の増加幅等の計算にも適する。今後は、擁壁に作用する土圧を利用した断面設定や滑動の取り込みに向けてモデルの改良を進めていきたい。そのためには、まず荷重の横方向の分布、地盤の塑性変形の実態の把握が前提となる。将来的には、鋼製構造物等へ拡張出来るよう、剛体仮定を外し、構造物としての擁壁内部の応力もモデル化することが必要になる。被災実態の詳細な把握と、隣接分野等で改良著しいモデルの適用性検証とを逐次進め、効果的で信頼性の高い急傾斜地崩壊対策工事に生かすうる技術的な検討を重ねていきたい。

- i. 芦田 和男・江頭 進治・神矢 浩・佐々木 浩：斜面における土塊の抵抗則と移動速度. 京都大学防災研究所年報, **28, B-2**: 297-308, 1985.
- ii. 芦田 和男・江頭 進治・神矢 弘. 斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究. 京都大学防災研究所年報, **27, B-2**: 331-340, 1984.
- iii. 芦田 和男・江頭 進治・大槻 英樹：山腹崩壊土の流動機構に関する研究, 京都大学防災研究所年報, **26, B-2**, 315-328, 1983.
- iv. Bagnold, Ralph A: Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, **225.1160**: 49-63, 1954.
- v. 千木良雅弘：2004年新潟県中越地震による斜面災害の地質・地形的特徴. 応用地質, **46.3**: 115-124, 2005.
- vi. 江頭 進治：8 6 豪雨における崩壊土砂の挙動. 平成 5 年 8 月豪雨による鹿児島災害の調査研究 研究成果報告書, 93-99, 1994.
- vii. Ellen, Stephen D., and Fleming, Robert W: Mobilization of debris flows from soil slips, San Francisco Bay region, California. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, **VII**, 31-40, 1987.
- viii. 長谷川 陽一・金澤 瑛・中谷 洋明・井上 沙久綾：待受け式擁壁に作用する崩壊土砂の衝撃荷重の空間分布に関する検討. 第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集 土木学会西部支部, 109-114, 2020.
- ix. Iverson, Richard, M: The physics of debris flows. Reviews of geophysics. **35.3**, 245-296. 1997.
- x. 笠間 清伸・山縣 史朗・田中 大貴・古川 全太郎・安福 規之：南阿蘇村高野台地区に分布する火山灰質地盤の地震時安定性評価. 地盤工学ジャーナル, **13.3**: 171-181. 2018.
- xi. 松倉 公憲：地形学からみた風化研究の問題点と今後の課題. 地学雑誌, **126.3**: 271-296. 2017.
- xii. Matsuo, S・Fukuta, M・Nishida, K: Consistency of decomposed granite soils and its relation to engineering properties. Soils and Foundations. **10.4**: 1-9.1970.
- xiii. 門間 敬一・千田 容嗣・海老原 和重：がけ崩れ災害の実態, 土木研究所資料. **3651号**, 1999.
- xiv. 大倉 陽一：崩壊の流動化構ならびに到達距離予測に関する研究. 森林総合研究所研究報告, **3, 4**, 109-164, 2004.
- xv. 小山内 信智・海堀 正博・山田 孝・笠井 美青・林 真一郎・桂 真也・古市 剛久・柳井 清治・竹林 洋史・藤浪 武史・村上 泰啓・伊波 友生・佐藤 創・中田 康隆・阿部 友幸・大野 宏之・武士 俊也・田中 利昌・小野田 敏・本間 宏樹・柳井

- 一希・宮崎 知与・上野 順也・早川 智也・須貝 昂平：平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害. 砂防学会誌, **71**, **5**, 54-65, 2019.
- xvi. Reynolds, Doris L : Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites. American Journal of Science, **252.10**: 577-613, 1954.
- xvii. Skempton, A. W. : Pre-Pressure Parameters A and B. Geotechnique, **4(4)**, 143-147. 1954.
- xviii. 田近 淳：北海道胆振東部地震による斜面変動のタイプと発生場の地形地質（速報）. 日本地質学会学術大会講演要旨 第 125 年学術大会（2018 札幌-つくば）. p. 601. 2018.
- xix. 内田 太郎・小山内 信智：崩壊の恐れのある層厚分布を考慮した待受け式擁壁の設計手法に関する検討. 地すべり研究, **50**: 139-149, 2006.
- xx. 内田 太郎・曾我部 匡敏・寺田 秀樹・近藤 浩一・小山内 信智・吉川 修一・亀田 信康：衝突時に崩壊土砂が構造物に作用する荷重に関する実験：構造物の変位が荷重に及ぼす影響. 砂防学会誌, **59-1**, 3-12, 2006.
- xxi. 内田 太郎・曾我部 匡敏・寺田 秀樹：がけ崩れの災害実態調査要領と調査事例について. 地すべり研究, 2004.
- xxii. 矢沢 正士・谷口 泉・前田 隆：自然含水比の高い火山灰土壌の締固め土の構造と物理性に及ぼす締固め含水比の影響 粘質土の理工学性と土壌構造に関する研究 (VI). 農業土木学会論文集. **149**: 19-25, 1990.
- xxiii. 山本 悟司・石川 芳治・三好 岩生・水原 邦夫：蒲原沢, 針原川, 八幡平で発生した土石流の土質特性と流動性. 砂防学会誌, **51**, **5**, 28-34, 1999.
- xxiv. Yoshida, N : STADAS, A computer program for static and dynamic analysis of ground and soil-structure interaction problems. <http://civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/computercodes/stadas.html>, 1993.
- xxv. 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説, 2020.
- xxvi. (一財) 全国治水砂防協会. 新・斜面崩壊防止対策工事の設計と実例（令和元年 5 月版）, 302, 2019.
- xxvii. 日本道路協会：落石対策便覧, 2017.
- xxviii. 日本道路協会：道路土工一擁壁工指針（平成 24 年版）, 2012.
- xxix. 宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説, 2007.
- xxx. (一財) 砂防フロンティア整備推進機構：土砂災害防止に関する基礎調査の手引き, 2001.