

2016年熊本地震の複合構造的被害および復興の見聞

常田賢一

1. はじめに

2016年4月の熊本地震では、大規模な斜面崩壊による落橋、水路に隣接する道路盛土のすべり崩壊など、土工構造物に関係した被害が顕在化した。これらの被害の特徴は、単一あるいは独立した構造物の被害ではなく、連続、隣接あるいは一体化している、あるいは付属している、複数の構造あるいは構造物間において、一方の被害が他方の安定や機能に影響する因果関係がある複合構造的な被害、言い換えると、分野横断型の被害である。

これは、或る構造物の地震被害の調査では、その構造物の工学分野の視点に留めず、被害原因である、あるいは被害を及ぼした他の構造物に対する視点の必要性を示唆する。また、この複合的な視点は、被害要因の多面的な究明に限らず、さらに4章の見聞1で例示するように、被害を最小化するための土木構造物の合理的かつ効果的な計画、調査、設計及び災害復旧などでも重要である。

本報文は、特に道路に関わる複合構造的被害と思われる事例を紹介し、今後の課題を考察する¹⁾。また、熊本地震の発生前の2015年3月に制定された道路土工構造物技術基準^{2),3)}では、“連続又は隣接する構造物等の性能の整合”が唱われているが、本文と関連付けて紹介する。さらに、2017年10月に現地を訪問する機会があり、その際に見聞したことを付記する。

2. 熊本地震における複合構造的被害の事例

熊本地震における筆者の限られた調査ではあるが、本章では道路に関わる複合構造的被害と思われる事例を示し、被害特性などを概観する¹⁾。

事例1：自然斜面と橋梁・アプローチ盛土

阿蘇長陽大橋は橋長 276m の PC4 径間連続ラーメン箱桁であるが、特に黒川右岸の A1 橋台の沈下及び取付け盛土の崩壊が顕著であり、通行止めになった(写真-1)。写真から分かるように、被害要因は橋台と取付け盛土の基礎地盤であった



写真-1 橋台の沈下と取付け盛土の崩壊

渓谷斜面の表層崩壊である。

本橋の復旧は、橋台部と取付け盛土の基礎である不安定地盤を掘削・除去し、取付け盛土部を 5 連 RC ラーメン構造として自立させるとともに、平面線形を斜面から離れる方向に変更している⁴⁾。

本例では、自然斜面を橋台および取付け盛土の構造物の基礎構造と考えて、その崩壊が橋台と取付け盛土の被害を誘発している。今後、本例のような基礎地盤の構造に関わる被害を抑制・防止するためには、ルートを選定段階での架橋位置、基礎構造の検討が望まれる。

なお、本例では橋台、取付け盛土の被害が同一原因により同時に発生したが、いずれか一方だけが被災した場合は、連続する橋梁と取付け盛土との相対関係になる(3章参照)。

事例2：斜面と栈道橋

阿蘇長陽大橋に繋がる戸下大橋は、黒川左岸の急崖斜面に併設された橋長 305m、17 径間の栈道橋であり、沿道の斜面崩壊による落石、土砂の崩落により、張出式の 1 橋脚と単純 PC プレテンスラブ桁・同 T 桁の 2 橋桁(写真-2)が流出した。

本橋の復旧では、鉛直に対して 1.0 度以上の傾斜が残留する橋脚は、水平耐力の低下の懸念から、山側に増し杭をして既設橋脚と一体化している⁴⁾。

事例 1 は、基礎地盤である斜面の崩落であるが、本例は橋梁に隣接斜面の表層部崩落およびそれに起因する橋梁の変状である。写真-2 の橋梁の下部斜面は安定処理され崩壊していないが、上



写真-2 斜面崩落が直撃した戸下大橋



写真-4 護岸の水平移動を伴う盛土のすべり崩壊

部斜面を含めた斜面と橋梁とは複合構造になるため、今後は、橋梁に隣接する斜面の安定性が橋梁に及ぼす影響を考慮することが望まれる。

事例3：盛土と横断ボックスカルバート・橋台

九州自動車道の盛土を横断するボックスカルバートや橋梁の取付け盛土の境界部では、舗装面の波打ち（写真-3）や段差が発生した。これらの変状は、盛土とカルバート、橋梁の構造特性の差異による地震応答特性の差異に起因するが、連続する異種構造物の境界は注意が必要である。

なお、2011年東北地方太平洋沖地震でも橋台とアプローチ盛土間の段差が顕在化し、2012年の道路橋示方書IV下部構造編の改訂では、橋梁アプローチ部の踏掛け版などの設計が規定された。

今後は、新設橋梁に止まらず、既設の橋梁あるいはボックスカルバートの段差抑制を含めて、効果的かつ経済的な工法開発が望まれる。

事例4：盛土と河川護岸

九州自動車道の益城町地先の盛土は、前震により下り線側の盛土ですべり、段差が発生し、通止めとなった。被害は秋津川橋右岸橋台から約80mの範囲であり、下り線の2車線の全幅に亘る。当事例は平坦部の両盛土構造であるが、崩壊側の法尻部は妙見川の護岸に隣接している。この河川は道路の計画法線を斜めに横断していたが、道路に併設するように付け替えられた。



写真-3 路面の波打ちの状況

崩壊した盛土は、写真-4のように妙見川の護岸を巻き込んで迫り出し（最大6mの水平移動）、川幅が狭窄している。当該盛土の崩壊原因は、基礎地盤のローム層および緩い砂層の液状化による河川護岸の変形の進行と報告され、掘り込み河川の影響が確認されている⁹⁾。つまり、崩壊していない上り線側の盛土は側道による押え盛土を含めて5m程度の盛土高である。他方、崩壊した下り線側の盛土は押え盛土が無く、河床から7~8m程度の高さであったため、地震動の作用の影響が大きくなり、盛土、護岸および基礎地盤の全体系としての安定性が低下したと考えられる。

今後、本例のような場合、護岸構造を与件とした盛土の設計に止めず、隣接した河川構造物と盛土との全体構造に対する安定性に注意が望まれる。

事例5：掘割道路と跨道橋

九州自動車道の掘割構造区間に架かる（隣接と考える）跨道橋の被害（落橋など）が、本線の通行阻害を引き起こした（写真-5）。従来から、跨道橋や跨線橋は被害時の影響が大きいので注意が払われていたが、熊本地震では特にロッキング橋脚の跨道橋の不安定性が顕在化した。

本例は、一つの構造物である跨道橋の被害が横架して隣接する構造物に影響した事例である。その損傷は本線の通行にも重大な影響を及ぼすので、本線部と同様な耐震性能の確保が有効であり、復



写真-5 掘割部の跨道橋の落橋：NEXCO西日本による

土研センター



写真-6 路肩の埋設導水管の抜け・浸水



写真-7 埋設管の被害による道路陥没

旧では橋脚の強化が行われた。

事例6：盛土と埋設導水管・暗渠水路

道路の舗装下の盛土内は、地下埋設物の収容空間として利用されている。写真-6は熊本県内の県道28号の盛土であるが、路肩に埋設された導水管の継ぎ手が抜けて漏水し、盛土の路肩・法面が侵食され、盛土に隣接した農耕地、道路に土砂が流出した。この他に、盛土の横断管の抜けによる漏水により埋め土が流出し、道路が陥没した事例もある。特に、定常的に流水がある導水管や水路では、浸水が継続するため、影響が大きくなる可能性がある。

本例は、盛土内に埋設された構造物の損傷が盛土の変状や安定に影響した事例であり、今後、このような土工構造物の二次災害防止のために、埋設管の耐震性などに注意が望まれる。

事例7：平坦道路と下水道管

益城町内の平地部の道路では、写真-7のように、下水道管路が埋設された道路の路面陥没が発生した。他箇所の被害では、埋戻し土の山砂の締固め不足、碎石の埋め戻し深度が原因とされているが⁶⁾、本例では、周辺の軟弱地盤（地山）に埋め戻し材が移動したためと推察されている⁷⁾。

本例のような下水道管路の被害の軽減のためには、舗装、地山と埋戻し部の複合構造の相対的な安定性に注意することが望まれる。

事例8：斜面崩壊の影響に対する事前対策

斜面崩壊による道路の危険性に対して、橋梁による改築が行われていたため、致命的な路線被害を免れた事例として、県道28号の大切畑大橋がある。ここでは、写真-8の奥の斜面が大規模に崩壊し、斜面中腹の旧道は崩落した。しかし、旧道を迂回する橋梁が設置されていたため、路線としての致命的な被害には至っていない。



写真-8 斜面崩壊の影響を免れた橋梁

本例から、既存道路で大規模崩壊などが危惧される場合、抜本的な事前対策の意義が示されたように、斜面の点検・診断に基づき、緊急性、予算などを考慮の上、適宜、予防保全が望まれる。

3. 道路土工構造物技術基準における連続又は隣接する構造物等の概念

道路土工構造物技術基準は^{2),3)}、土工構造物が多種、多数存在する路線の交通機能を確保するために、「設計に際して、当該道路土工構造物に連続又は隣接する構造物等の要求性能・影響を考慮」としている。例えば、図-1はレベル2地震動に対する重要度1の路線あるいは区間の全体において、土工構造物に留まらず、路線などを構成する各種の構造物の性能を性能2に統一する概念を示す。この概念、視点は、道路施設に関わる技術基準として最後の制定となった当該基準で初めて明示されたが、本報文で提示する複合構造的被害の抑制に通じている。また、橋梁などの他の構造物でも同様な姿勢が望まれ、それによりバランスがとれた道路ネットワーク機能が確保できる。

従って、今後、新設又は改築する際の設計では、当該の土工構造物だけの設計に留まらず、連続あるいは隣接する他の道路構造物との性能の整合に

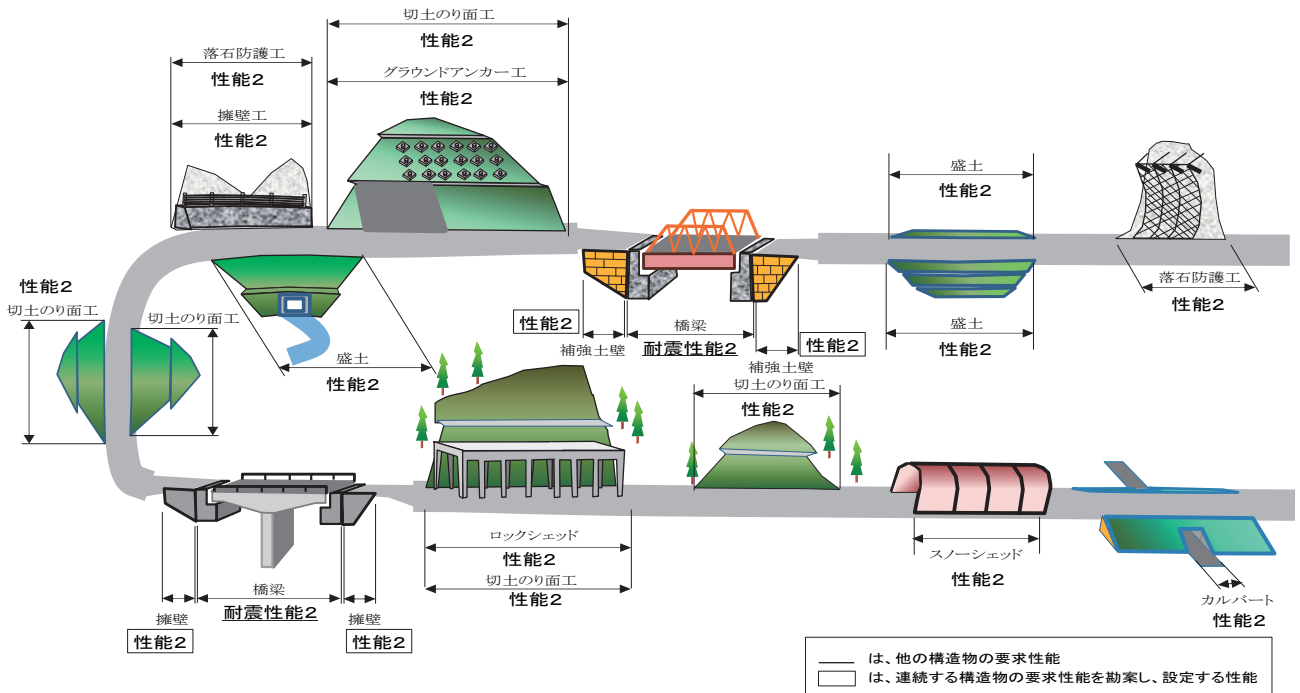


図-1 連続する構造物との要求性能の整合のイメージ：レベル2地震動、重要度1の路線³⁾

留意することが命題である。

ここで、連続および隣接の区分について、明確な定義は難しいが、例えば、或る道路土工構造物が道路区域内および区域外の他の構造物・施設（土工構造物含む）に影響する場合と考えられる。

なお、上記の視点を広く捉えると、例えば、盛土（路床含む）と舗装の相対関係において、盛土の耐震性あるいは舗装の劣化の深層化などを鑑みると、両者は一体的に連続する構造物と考えることが合理的である。

4. 阿蘇地区の復興の見聞

地震発生から1年半後の2017年10月に、復興途上の阿蘇地区の現地を訪れたが、事業が終了した箇所や工事中の箇所を見聞し、将来の橋梁の耐震性の向上などに関わる知見として、特に印象に残ったことを、感じたまま以下に記す。

見聞1：立地条件に関わる橋梁の被害

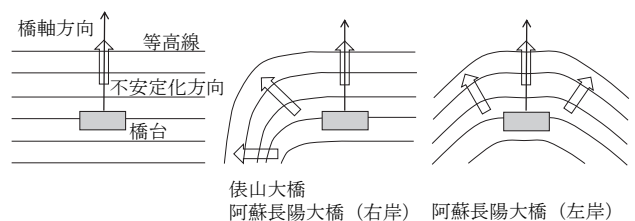
工事中の県道熊本～高森線の大切畑大橋、桑鶴大橋、俵山大橋の3橋及び平成29年8月27日に復旧工事が完了し、開通した村道栃の木～立野線の阿蘇長陽大橋⁴⁾の状況から、架橋位置の地形および橋梁の構造、線形に注目した。

一つは、橋台の設置位置である。山間部のため、橋台は斜面に設置されているが、橋台近傍の斜面の平面形状に注意が必要である。言い換えると、

通常、設計段階で縦断方向の地形は確認されているが、横断方向の地形の確認が必要な場合がある。

図-2に概念図を示すが、形態1であれば、橋軸方向の斜面の安定性を確認すればよいが、形態2あるいは形態3では、横断方向の安定性の確認が必要である。形態2は俵山大橋（左岸）、阿蘇長陽大橋（右岸）、形態3は阿蘇長陽大橋（左岸）が相当するが、いずれも橋台下部の地山の変状（ずれ、沈下）による被害が発生した。そのため、俵山大橋の復旧では地山変状を受けないように、橋台を19mセットバックして再構築している。

二つ目は、橋梁構造の非対称性である。山間部の橋梁の設計では、縦断線形あるいは平面線形について、必然的に勾配が付き、曲線になり、さらに径間割も不等間隔になるが、地形条件に沿うように設計が行われるためである。しかし、前述の各橋梁の被害では、橋台、橋脚、橋桁が個別に挙



(a) 形態1 (b) 形態2 (c) 形態3

図-2 地山の平面地形と橋台の位置形態の概念

土研センター



写真-9 A2橋台：胸壁・翼壁の再構築

動し、その結果、橋梁の被害形態が複雑、多岐に亘った⁸⁾と思われる。

例えば、写真-9の2径間連続鋼斜張橋の桑鶴大橋は、主塔から高所側の桁長が59.4m、低所側の桁長が99.4mであり、低所側のA1橋台は可動支査、高所側のA2橋台は固定支査であり、さらに曲線橋であるなど、複雑な非対称構造である。そのため、ケーブルのよれ、主塔部の支点の損傷と橋桁のずれ、A2橋台の支点の損傷、橋桁の浮き上がりが発生した。そして、復旧では詳細な技術検討を経て、A2橋台のPCケーブル張力導入による浮き上がり防止対策などが実施されている。

なお、このような橋桁の不規則な挙動や異なる損傷は、橋梁構造の非対称性および地山自体の不規則な挙動に起因するが、後者は対応が困難であるので、対応が可能な前者に対して、構造の単純化、均等化、対称化を図ることが考えられる。

例えば、橋梁の線形について、縦断勾配を付けないあるいは可能な限り小さくし、平面線形は直線を基本として、曲線も可能な限り直線に近づけることが考えられる。他方、線形の平坦化、直線化により、橋梁前後のアプローチ部の道路線形に対する影響が想定されるが、適宜、工夫するとともに、橋梁位置の検討も考えられる。

以上のように、今後の橋梁の耐震設計の前段階の対応として、橋梁の調査・計画段階において、地山の地形あるいは土質・地質などを考慮して、橋梁の設置位置や構造形式を検討し、地震の影響、被害を最小化することも考えられる。

見聞2：大規模・急勾配斜面の無人化施工

国道57号、JR豊肥本線を巻き込み、阿蘇大橋を崩落させた50万m³に及ぶ大規模な崩壊斜面(写真-10)に対しては、斜面上部の崩壊土砂の除去が行われていた。

この大規模かつ急勾配な斜面での復旧作業では、無人化施工が特筆できる。つまり、延長500mのワイヤドラムを搭載したウィンチにより、崩壊斜面の頭部よりワイヤーで吊るした遠隔操作による無人のロッククライミングマシン(2台)が、勾配30~40°の斜面中腹に残る崩壊土砂等(約2万m³)を斜面下部に落としている(写真-11)。

不安定土塊の除去後は、有人作業により、上部斜面は植生マット工およびアンカー工により、また、下部斜面(10~20°)は、山腹工(柵工)、植生工、水路工により恒久的な斜面安定化が図られる予定である。

見聞3：大規模切土斜面の形成と景観

崩落した阿蘇大橋は、800mほど下流で架け替



写真-10 本震による斜面崩壊：2016年5月7日時点



写真-11 急勾配斜面での無人化施工：マシンは水平保持/熊本復興事務所の提供に加筆

えられることになったが、写真-12 のように、工事中の現地では兩岸の切土が終わり、モルタル吹き付けにより法面が保護されている。この切土斜面は、表層部の不安定な土塊を除去するとともに、緩勾配化により安定化が図られている。

さて、当該地点は黒川の V 字谷であり、地震による斜面崩壊で荒れた状態になったが、いずれ植生は自然復元すると思われる。なお、写真-12 から分かるように、V 字谷、阿蘇大橋、阿蘇長陽大橋を臨む風光明媚な場所になる可能性を秘めているので、自然物と人工物との共生が感じられる場になることが期待される。

特に、左岸側の斜面は、写真-13 のように白川の下流側からの遠望の視界に入っているため、草本、木本による緑化などにより、大規模切土斜面が阿蘇の風景に馴染むようになるとよい。

5. まとめ

本報文は、2016年熊本地震の道路関係の被害について、改めて複合構造的被害の視点から被害例を示し、構造物間の相互関係に起因する被害に注意する重要性と課題を示した。

また、本報文の複合構造的被害の視点は、道路土工構造物技術基準で規定された“連続又は隣接する構造物等の性能の整合”の視点に合致していることを紹介した。

なお、近年、多発する豪雨災害などでは、複合的な災害形態が危惧されるが、本報文による土木構造物の分野横断的な複合構造的被害の視点は、災害要因の究明、さらに二次災害の拡大防止において、必須かつ有効である。



写真-12 阿蘇大橋の架け替え位置の状況



写真-13 阿蘇大橋の左岸斜面の遠望：大津町瀬田から

さらに、復旧・復興中の現場で感じた見聞は、今後、参考にして頂ければ幸いです。

最後に、現地調査にご協力を頂いた、九州地方整備局・熊本復興事務所及び国土技術政策総合研究所・熊本地震復旧対策研究室の皆様へ感謝申し上げますとともに、復興事業の進捗を御祈りする。

参考文献

- 1) 常田賢一：平成28年熊本地震の現地調査による被害の特徴と今後の対応に関する考察、(一財)災害科学研究所 現地調査報告、平成28年5月19日 (<http://csi.or.jp/>)
- 2) 国土交通省道路局：道路土工構造物技術基準、2015.3
- 3) (公益社団法人)日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説、2017.3
- 4) 星隈順一：熊本地震で被災した長陽大橋ルート、1年4ヶ月ぶりに開通～国総研・土研の高度な技術の総合力が早期復旧に貢献～、土木技術資料、第59巻、第10号、pp.46～49、2017
- 5) 村上豊和、田山 聡、浜崎智洋：平成28年熊本地震における高速道路の盛土崩壊に関する調査、第32回日本道路会議、No.4028、2017.10
- 6) 深谷 渉、岩崎宏和：平成28年熊本地震における下水道管路施設被災の特徴、土木技術資料、第59巻、第11号、pp.12～15、2017
- 7) 内田 勉、横田敏宏、深谷 渉、宮本豊尚、竹内大輔：平成28年（2016年）熊本地震による下水道管きょ被災状況、下水道会誌、Vo.53、No.645、2016.7
- 8) 大住道生：要因は、地盤変位か振動か～熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく要因分析、土木研究所第10回 CAESAR 講演会、2017.8

常田賢一



(一財)土木研究センター理事長
工博
Dr.Ken-ichi TOKIDA