

地震断層を知り、共存する

常田賢一

1. はじめに

2016年熊本地震では断層が地表面に出現したが、このような断層を地表地震断層あるいは地震断層と呼ぶ。ここで、地震の影響について、地盤の揺れ、つまり地震動（加速度など）の作用に対する耐震設計を行うのが通常であるが、地震断層では断層変位の作用を考えることになる。

例えば、写真-1¹⁾のように、地震断層が地表面に出現すると、それが横断した橋梁や河道が変位作用を受けて落橋あるいは変形して、甚大な被害に繋がる場合がある。そのため、地震断層が想定される場合は、適宜の検討、対応が望まれる。

これまで、地震動に対する被害軽減のための耐震対策は優先的、積極的に取り組まれてきており、土木構造物の耐震性は向上している。一方、被害例が少ない断層変位については、研究途上であるため、個別事例的な対応が行われている。

本文は、地震断層の発生特性、地震断層による被害の特徴、土木構造物への影響および対策方法などについて調査した結果²⁾から、特に、地震断層の取り組みに際しての視点、留意点を紹介する。

2. 地震断層に対する視点、姿勢

2.1 地震断層による構造物への影響は、発生変位量でなく、影響変位量で考える

地震断層による構造物への影響の度合いは、地震断層ごとに想定される変位量（以下「発生変位量」という。）では決まらないので、地震断層の変位量（発生変位量）が大きければ、構造物の被害が大きいと考えるのは短絡的であり、間違いである。つまり、地震断層の断層線の方向や傾斜角度と構造物の軸方向との相対関係により、構造物が影響を受ける変位量（以下「影響変位量」という。）が異なるからである。言い換えれば、発生変位量が大きくても、地震断層と構造物の相互関係により、影響変位量が小さくなる、あるいは小



写真-1 地震断層による落橋と河床の段差の発生¹⁾

さくできる場合がある。

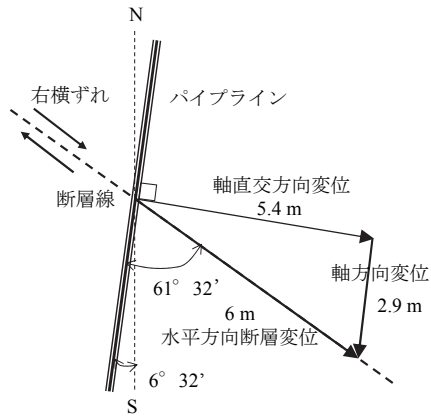
ここで、発生変位量と影響変位量の差異を例示する²⁾。図-1(a)は地上に敷設されたパイプラインであり、その延長方向の軸は南北方向から時計回りに $6^{\circ}32'$ の方向にある。一方、断層線は $61^{\circ}32'$ の角度でパイプラインと交差する。この状態で断層線が右横ずれして、水平方向に 6m （＝発生変位量）変位した場合、パイプラインが地盤に固定されず自由に移動すると、パイプラインの軸方向に 2.9m の圧縮変位（＝影響変位量）が発生し、軸直交方向に 5.4m 移動するので、 2.9m と 5.4m が設計条件になり、発生変位量の 6m ではない。

さらに、図-1(b)のように、断層線の方向および右横ずれの変位量が同じでも、パイプラインの軸を南北方向から時計回りに 35° の方向に設定すると、断層線はパイプラインと 90° で交差するので、パイプラインは軸直交方向に 6m 移動するが、軸方向の圧縮変位（＝影響変位量）は 0m になり、圧壊を発生させないことができる。

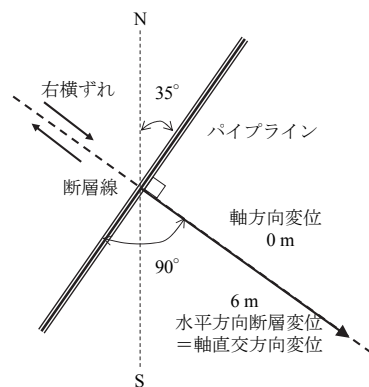
このように、断層線と構造物との交差角度などの相互関係を考えて工夫すると、構造物の損傷に関係する影響変位量を減らすことができる。

2.2 地震断層対策では、影響変位量により「避ける」、「追従する」、「吸収する」の姿勢がある

地震断層による構造物の被害の発生は、影響変位量の大きさに左右されるが、影響変位量が大きくなると、いくら相互関係や構造を工夫しても、被害の抑制が困難になる。つまり、構造物の立地



(a) 軸方向変位により圧縮力が発生



(b) 断層線と直交させると圧縮力は発生しない

図-1 地震断層と構造物の関係で変わる影響変位量²⁾

が困難であるため、地震断層が存在しない場所に移動する（以下「避ける」という。）ことになる。

一方、影響変位量が小さければ、それを吸収して構造物に被害を発生させない（以下「吸収する」という。）ことができる。さらに、中程度の大きさの影響変位量の場合は、断層の変位に逆らわずに移動して、かつ構造物に致命的な被害を発生させない（以下「追従する」という。）ことが考えられる。

以上の地震断層に対する3つの姿勢である「避ける」、「追従する」および「吸収する」は、発生変位量、影響変位量の大小関係に対応させて、図-2のように表せる²⁾。なお、影響変位量は発生変位量を超えないので、図の左下半分の領域になる。

2.3 地震断層の対策では、「避ける」から「追従する」、「吸収する」へと影響変位量を減ずることが有効であり、技術開発の余地がある

地震断層に対する姿勢において、影響変位量を「吸収する」ことが最もよいが、「避ける」ほどの大きさの影響変位量では難しいので、少なくとも「追従する」ことができれば、地震断層があつて

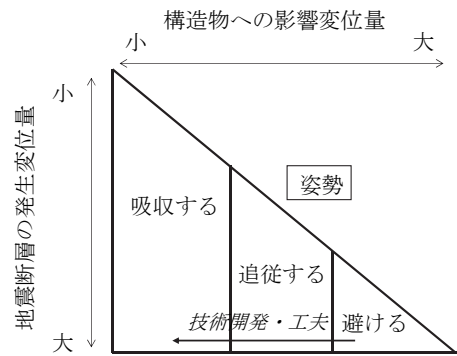


図-2 発生変位量と影響変位量の関係と取組みの姿勢²⁾

も構造物は立地できる。このように、「避ける」から「追従する」、「追従する」から「吸収する」のように地震断層の影響を低減すること（図-2）が地震断層対策の基本姿勢、要諦である²⁾。

そのため、影響変位量の低減が必要になるが、低減方法は多種多様であり、そこでは技術者による知恵の提示・絞り出しや技術開発の余地がある。つまり、「避ける」だけではなく、人間の英知を出して、地震断層の影響を減じて、地震断層と共存することが必要であり、それは可能である。

2.4 地震断層対応は理学と工学の連携に基づく評価が必要であり、地震断層の特性が定量化できれば、構造物への影響、対策が評価できる

地震断層対策の検討の流れは図-3³⁾のように整理できる。ここで、地震断層の有無、発生変位のレベルなどの地震断層に関する評価は、地震学などの理学分野が担い、影響変位レベル、構造物の変状・損傷レベル、対策の実現レベルの評価は、工学分野が担う。そして、地震断層に対する評価

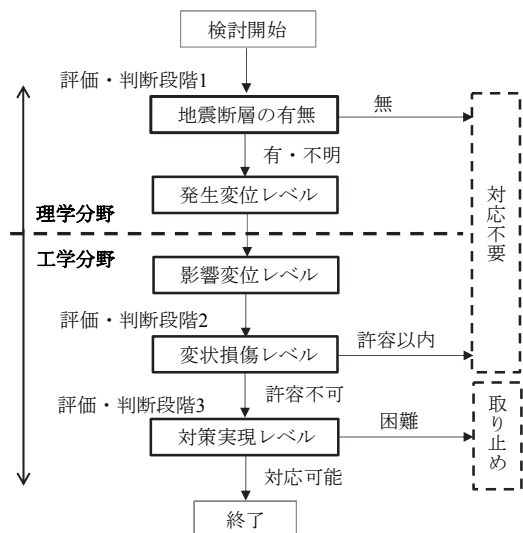


図-3 地震断層対策の検討フローと理学と工学の関係³⁾

土研センター

・判断は三段階に区分でき、これらの過程を全て経てから、「建設の取り止め」などの判断をすることが合理的である。言い換えれば、活断層の有無だけの判断は、拙速ということである。

そして、地震断層の影響の総合的な評価のためには、理学と工学の連携が必要である。例えば、地震断層の諸特性（断層変位量など）は理学分野で評価し、工学分野は地震断層の諸特性を、その不確実性も踏まえて、設計条件として構造物の設計を行い、地震断層による被害の形態、規模を算出する。その結果に基づいて、構造物の立地の是非、構造の工夫の検討を行う。

2.5 地震断層の対策は、構造物のサービス水準に応じて考えるので、事前対策は必須ではない

地震断層対策を考える場合、事前対策は必須ではない。仮に、地震断層による被害が発生したとしても、構造物の重要性が低い場合は、事前対策をしないで、被害後に時間をかけて復旧する対応もある。その際の判断は地域の防災計画等と整合させた当該構造物のサービス水準を設定して行うことが必要であり、一般的な構造物では表-1のサービス水準区分²⁾が例示できる。どのサービス水準にするかは、構造物の管理者が決めて、住民、道路利用者に説明すればよい。

2.6 地震断層の対策は、構造物の計画、設計、発生直後および復旧の各段階で考えられる

地震断層対策の検討の流れは、図-4で例示できる。つまり、検討段階には、構造物の計画段階、設計段階、地震断層発生直後段階および復旧段階があり、多様かつ柔軟な対応が考えられるが²⁾、そのためには新たな技術や技術者が必要とされる。

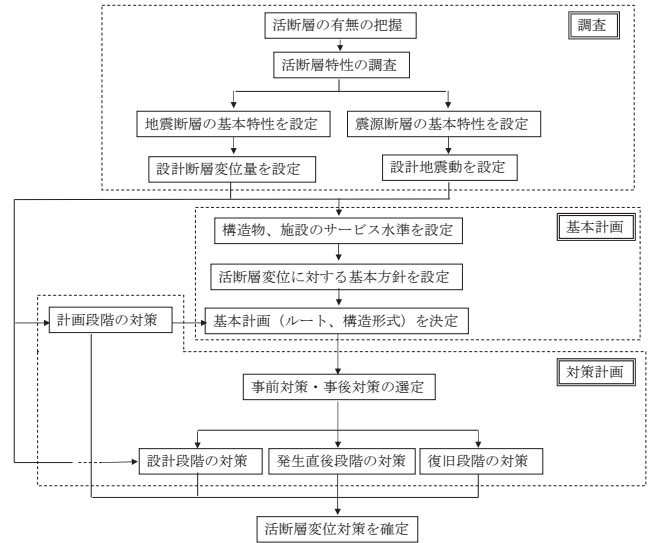


図-4 地震断層対策の検討の流れと段階ごとの対策²⁾

ここで、各段階に適した対策があるので、適宜、工夫するとともに、各段階の対策の組み合わせにより、効果を高めるといった視点も重要である。

2.7 地震断層を考慮した構造物の設計は行うことができ、既に行われている

地震断層による被害や対策の事例は、地震動と比べて少ないのが実情である。しかし、近年では地震断層の対策が検討され、実施例も増えてきている。本文では、道路橋の実施例および石油パイプラインの効果の実証例を紹介する²⁾。

まず、大分県別府市内の道路改良では、写真-2のように地震断層（堀田断層と朝見川断層）を横断する板地橋の設計に際して断層対策が検討された。地震断層の特性は、約7,300年間に生じた断層の総変位量20m程度および断層活動の繰り返し間隔の1,000年から、活動1回あたりの鉛直変位量は3.0mとされた。なお、当路線は代替路が

表-1 地震断層対策のサービス水準例：文献²⁾に加筆

サービス水準	サービスの内容
A	地震断層の変位による特別な被害は発生しないで、変位の発生前と同様な構造物の機能が確保される水準
B	地震断層の変位の発生により、小規模な被害が発生し、3日～2週間程度の応急復旧により、構造物の機能が確保される水準
C	地震断層の変位の発生により、中規模な被害が発生し、1～3箇月程度の応急復旧により、構造物の機能が確保される水準
D	地震断層の変位の発生により、大規模な被害が発生し、3箇月～1年程度の本復旧により、構造物の機能が確保される水準

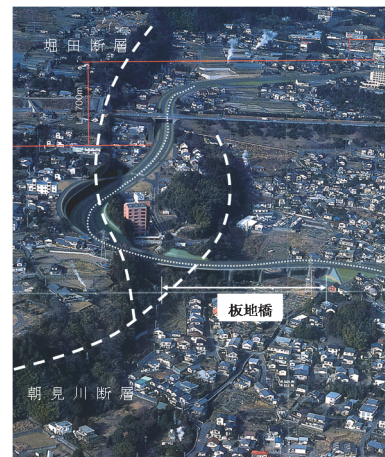


写真-2 地震断層を跨ぐ橋梁（大分県の資料に加筆）

あるので、地震断層変位の発生時は、通行止め、迂回誘導などを行い、1年半程度の本復旧により交通機能を確保するサービス水準が設定された。

対策では、まず、当初設計の5径間連続桁に対して、断層交差部を単純桁で独立させ、残りを4径間連続桁に変更し、地震断層の影響を単純桁に限定した。また、構造設計では、単純桁を落橋させない前提の下、地震時水平力分散ゴム支承および落橋防止システム構造（桁かかり長など）にした。事後対策では、断層変位を受けた単純桁の再利用、支承と伸縮装置の撤去・交換、橋台の一部打ち替え、急勾配となるアプローチ部の掘削による縦断線形の調整が検討された。

本例は、橋梁の活断層対策を本格的に検討した我が国最初の事例であると思われるが、2016年熊本地震で落橋し、架け替えられる阿蘇大橋でも地震断層の影響が検討されている⁴⁾。

また、建設の四半世紀後に対策の効果が実証された事例がある²⁾。2003年11月に米国のアラスカ中部で発生したM7.9の地震では、全長650kmのデナリ断層が336kmの範囲で変位し、最大水平変位量は9mであった。しかし、1977年のパイプライン建設時に地震断層変位を考慮した構造設計が行われていた。パイプラインと断層線の関係は図-1(a)であり、水平方向6.0m、鉛直方向1.5mの発生変位量が想定された。断層対策ではパイプラインを地上化し、可動沓を介して33箇所をのり（写真-3：長さ12m、設置間隔18m）上を、パイプが断層変位に追従して移動できるようにした。

写真-3はパイプラインと地震断層の交差部であり、地震断層が変位した前後の比較である。被害について、パイプを支える台座が破損したものの、

パイプ自身の損傷は軽微であり、移動したパイプはビーム上から外れていないので、致命的な被害は回避され、対策の効果が実証された。なお、図-1(b)のようにパイプラインの縦断線形を工夫すれば、さらに効果的であったと思われる。

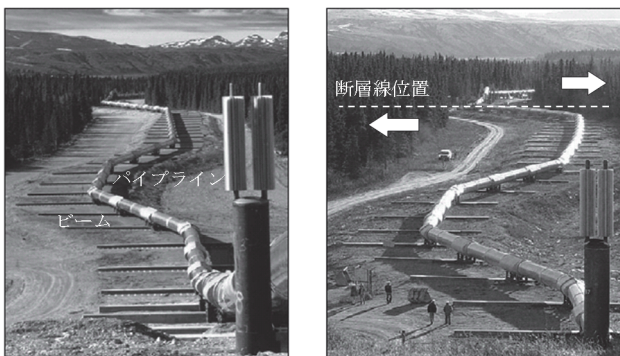
3. まとめ

地震断層の取組み姿勢は下記の通りであるので、必要以上に恐れることはなく、共存が可能である。なお、構造特性が多様な土木構造物では、それぞれの状況に応じて、適宜、対応するとよい。

- (1) 地震断層による構造物への影響は、発生変位量ではなく、影響変位量で考える。
- (2) 地震断層に対して、影響変位量の大きさに応じて「避ける」、「追従する」、「吸収する」の姿勢があり、影響変位量を減ずる工夫をする。
- (3) 地震断層に対して、理学による地震断層特性に基づいた工学的対応は多様かつ可能である。
- (4) 地震断層対策は、構造物のサービス水準に応じて考えればよく、事前対策が必須ではない。
- (5) 地震断層対策は、構造物の計画、設計、発生直後および復旧の各段階で考えられる。

参考文献

- 1) 川島一彦、庄司 学、岩田秀治：1999年集集地震（台湾）における卑豊橋・烏溪橋の被害と被災メカニズム、第3回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp.433～440、1999
- 2) 常田賢一、片岡正次郎：活断層とどう向き合うか、理工図書(株)、188p、2012
- 3) 常田賢一：地表地震断層に対する工学的な姿勢・対策と今後の方向性に関する考察、断層変位評価に関するシンポジウム、2015
- 4) 国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所：第4回国道325号ルート・構造に関する技術検討会 会議資料、2018



(a) 断層変位前

(b) 断層変位後

写真-3 断層の変位前後のパイプライン²⁾

常田賢一



(一財)土木研究センター
理事長、工博（工学）
Dr.Ken-ichi TOKIDA