

## 断層変位による被害を受けた建物の調査と対策に関する研究

DA16064 大野 拓巳

### 1. はじめに

現在有効とされる建築分野での断層変位対策は、断層線を避けることである。カリフォルニア州の活断層法「アルキスト・プリオロ特別調査地帯法 (Alquist-Priol Speacil Zones Act)」は断層帯周辺の100~300mの範囲を開発することを規制するものである。また活断層が発見された場合、活断層から15mのセットバックを必要としている。また熊本地震では断層変位による被害も多数報告されている。今回調査した断層変位対策において、断層変位に有効なものだけでなく、その後の復興にも活用できる事例であることも確認した。本論では有効な断層変位対策に有効な被害事例を調査し、検討していくものである。

#### 1.1 背景

現在、建物に有効な断層変位対策は一般に断層線を避けることとされている。地震動への対策は耐震、免振と進歩してきた。また長大な建築物やライフライン施設でも、様々な断層変位対策が行われている。しかし、低層住宅などの建築物においては断層線を避けることが最も有効とされている。しかし、断層帯の正確な位置を把握することは困難であり、断層帯を避けること自体が難しいものである(断層帯のスケールが数十mであるのに対して、建築のスケールは数mである。また副断層や分岐断層など地表地震断層への出現は複雑化を要する。そのため、建築を行う上で断層帯の把握を行なうことは困難である)。つまり、断層変位対策として断層線の回避とは不十分な対策であると考えられる。またアメリカでは、断層帯周辺の開発行為を規制する政策が取り込まれている。日本においても、この活断層法の取り入れが有効であるという議論がなされている。しかし、土地や建築の規制は健全な用地活用や経済の生産性を低下させる1つの要因にもなりうる。最も有効な断層変位対策は断層帯を避けることと提唱されてきたが、近年、台湾の921地震や熊本地震において、有効な断層変位対策の事例が確認された。そこで本論では、台湾921地震、熊本地震の被害事例、復興状況を調査・確認し新たな断層変位対策の有効性を検討するものである。

#### 1.2 目的

新たに有効と考えられる断層変位対策を調査・確認し、今後

想定される震災対策等において建物の被害軽減に活用されることを目的とする。

### 2. 台湾921集集地震の調査結果

#### 2.1 台湾921集集地震について

1999年9月21日に台湾中部で発生した大地震、921地震である。マグニチュードは7.7を観測し、これは兵庫県南部地震の約10倍のエネルギー規模であった。台湾では20世紀で1番大きな地震であった。震源に近い南投懸、台中懸を中心に、死者2,321名、負傷者8,739名、全壊27,153棟、半壊25,238棟(1999年10月11日時点)という甚大な被害を与えた。地表に約80kmにわたって断層変位が出現し、それはチェロンブ断層が再活動したことにより発生したものである。その断層変位量は最大で垂直方向に約8m、水平方向に約9mにも達した。この地震の断層変位は逆断層により引き起こされたもので、震源断層の走向はほぼ南北であった。

#### 2.2 調査結果

断層変位が建物の直下に出現した場合、一部を除きほとんどの建物が倒壊・破壊されていた。復興後、建物は撤去もしくは再建されていた。以下は断層変位が建物直下を通る被害事例である。



写真1 台中懸石岡郷の住宅

写真2 苗栗懸卓蘭鎮果樹園



写真3 台中市 北屯品 住宅街

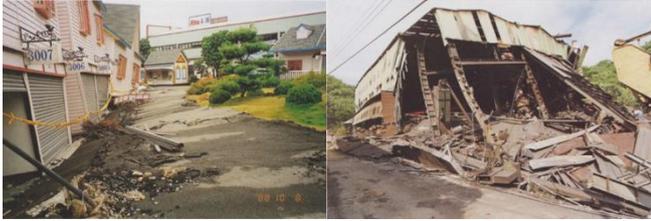


写真4 左、南投縣草屯鎮のホテル施設 右、台中縣 太平市 S造の工場

### 2.3 断層変位が建物付近に出現した事例

建物の周辺に断層変位が出現した場合の被害事例。



写真5 東勢坑子 寺院



写真6 台中市 北屯品 寺院



写真7 南投縣 南投市の病院



写真8 台中縣 霧峰郷のRC造5階のマンション



写真9 台中縣 太平市の民家

建物直下に断層変位が出現した被害事例と比較すると、断層変位を回避している建物の被害は極めて少なくなり、また復興後の現存も多く確認され、軽微な修復・補強で利用され

ていた。以上より、断層変位対策として断層線を避けることの有効性が確認できる。

### 2.4 集合住宅、長大な建築物の被害事例



写真10

写真11



写真12

写真13



写真14

写真15

写真10 台中縣 霧峰郷の中学校、写真11 台中縣 豊原市の水路付近にある RC 造の集合住宅、写真12 台中縣霧峰郷の学校、写真13 台中縣霧峰郷の RC 造のマンション、写真14 台中縣 大里市の RC 造のマンション、写真15 東勢坑子 RC 造のマンション

全て、建物直下に断層変位が表れている。写真10は現在、ワイヤーや支柱により、倒壊しないよう補修・補強され、被害当時の状況のまま震災被害資料として保存・公開されている。写真11は地盤隆起による断層変位被害を受けているが、RC造のため建物や構造部材、外観の被害は見られず、傾斜被害のみと考える。建物は撤去されている。写真12は断層変位被害を受けているが、修復されている。写真13は躯体中央に断層変位被害が生じた事例ある。建物は撤去されている。写真14, 15共に現存は確認できなかった。

### 2.5 有効とされる断層変位対策事例



写真16 台中縣 太平市のRC造の民家



写真 17 台中縣 大里市 民家



写真 20 木造住宅



写真 18 南投縣 名間鄉 虎仔坑 作業倉庫



写真 21 平屋の S 造工場



写真 19 台中縣 太平市の RC 造の民家

建物直下に断層変位が出現している事例である。また全ての建物が RC 造の低層建築物である。被害状況は、全ての建物が地盤隆起による甚大な傾斜被害を受けている。しかし建物の外観や構造部材に大きな被害は見られない。それぞれ 1～4m の地盤隆起被害を受けているが軽微な被害にとどまり、また復興後の状況として、全て修復され利用されていた。また、写真 15、16 は断層隆起に合わせた建物の修復が行われており、地盤面から高い場所に修復され建っていた。台湾の 921 地震の調査では、断層ズレ変位による傾斜被害を受けた建物でも修復され利用されている事例を確認した。修復された建築物の特徴として、RC 造で、基礎部分の剛性が高いもの、低層住宅があげられる。以上の条件が揃っている場合、断層隆起の被害の大小に関連性はなく全てが修復されていた。RC 造の建築物の中で集合住宅や高層建築物の被害事例は、断層隆起による傾斜被害を低層住宅と同様に確認し、外観にも大きな損傷が見られない事例が多かった。しかし集合住宅の場合、修復は行われず撤去されたものが多かった。

### 3. 熊本地震の被害調査事例

#### 3.1 盛土、擁壁の有効性

写真 18 は建物直下に断層変位が出現した被害事例である。建物直下に断層変位が出現したが軽微な被害に留まった。その理由として、RC 造の布基礎であることと、この建物が 1.5m ほどの盛土に建てられていたためである。写真 19 も建物直下に断層変位が出現したが軽微な被害に留まっている。3m 近い盛土上に位置しているためである。二つの建物は現存を確認されている。これらの事例より、盛土地盤には断層ズレ変位を低減する効果があることが確認した。一般的に盛土地盤は地震動を増幅させ、地すべりや不動沈下などの地盤変状による被害を生じる可能性があるため耐震対策上は不利であると考えられている。しかし、被害事例のように断層変位に関しては地盤で生じる断層変位は盛土地盤内で分散・吸収され、地表での変位を低減させていたものとする。また盛土だけでなく、建物の RC 造のべた基礎や剛性の高い耐震壁を取り入れるなど、同時に建物の強度もあげることが必要である。また擁壁による十分な地盤変状への対策を行うことも、有効な断層変位対策に繋がる要因と考える。



写真 22 台中縣 大里市 住宅街

これは台湾 921 地震の被害状況と修復状況である。約 2m の地盤隆起被害を受けた後、地盤隆起した部分を擁壁で補強し、使用している事例である。写真 15、16 も同様に地盤隆起に合わせた修復が行われている。台湾では、建物の標高を上げる修復が散見された。道路や周辺地盤は下げられているため、意図した修復であり、隆起した部分はコンクリートで

補強されているため、盛土に類似したものであると考える。盛土の断層変ズレ変位の低減について、地盤隆起した地域ではその地域の地盤特性をそのまま引き継いでいるため、地質の悪化や軟弱地盤など一概に隆起した地盤をそのまま利用することが有効になるとは考えにくい点もある。しかし、隆起した地盤を擁壁で補強し継続して利用していくことは、規模や要所において見極めが必要だが地均しのコスト削減や現行にある熊本市の擁壁被害による行政の補助制度の応用などに結びつけ復興促進を図ることに繋がると考える。意図して地盤と建物の間に媒体を挟むことで、地盤と家屋との間で発生する断層変位の力を分散・吸収する要素をつくることは、今回の事例で有効であると考えられる。

### 3.2 耐震改修の必要性

熊本地震では、2000年基準とその基準以前の建物で大きな被害の差がでた。また内閣府のデータでは、全国の耐震化率を100%にすることができれば、最大の被害から約9割を抑制することができるが挙げられている。耐震改修促進制度を周知、利用し建物の耐震化を更に普及させていく必要がある。

## 4. まとめ

台湾の921地震の調査では、断層ズレ変位による傾斜被害を受けた建物でも修復され利用されている事例を確認した。修復された建築物の特徴として、RC造で、基礎部分の剛性が高いもの、低層住宅があげられる。以上の条件が揃っている場合、断層隆起の被害の大小に関係なく全てが修復されていた。RC造の建築物の中で集合住宅や高層建築物の被害事例は、断層隆起による傾斜被害を低層住宅と同様に確認し、外観にも大きな損傷が見られない事例が多かった。しかし集合住宅の場合、修復は行われず撤去されたものが多かった。

熊本地震では盛土の上に立つ建築物は、断層変位被害を軽減した事例として多く確認された。盛土が断層変位の力を吸収、分散し建物への被害を減少させたものである。盛土は沖積層などの軟弱地盤上で、断層変位を低減させる効果があることを確認した。盛土による断層変位対策の有効性については、擁壁による盛土の補強、建物の耐震性の向上などと合わせた対策が必要であると考えられる。また、台湾の921地震でも建物を地上より上げる修復事例を確認した。隆起した地盤に合わせた修復が行われ、上昇した地盤等は擁壁で補強されていた。これは熊本地震同様、盛土の効果を期待した耐震対策として行われたものと考えられる。正確な断層変位の出現場所を把握することは困難とされる一方で今回の盛土対策は、断層

帯の場所にかかわらず用いることができるため、断層変位対策として大きな有効性があるものと考えられる。台湾、熊本地震二つで確認された有効な断層変位対策では、それぞれ建物の被害が軽微であったため、修復・補強がしやすい点が挙げられる。断層変位対策として有効なだけでなく、建物の被害を軽減させる効果や、修復しやすい点においては公費解体棟数の削減にも貢献できる対策であると考えられる。公費解体とは、災害時に倒壊や破壊された建物を国費で撤去することである。熊本地震では、災害関連死者数(178名)は、直接死(50名)の約3倍という報告が挙げられている。この背景の一つに、住居の公費解体による帰宅困難者の増加が挙げられる。熊本地震では特例として半壊判定の家屋の解体にも補助金が支給された。その結果、34,026棟のうち約8割が公費解体を申請している。また撤去するにあたり、倒壊、破壊した建物を災害廃棄物として撤去するため、様々な廃棄物を同時に処理し、また廃棄物量も増加するため、公費解体は廃棄物処理の面においても対策を講じなければならない要因を持ち合わせている。本論で扱った断層変位対策は、公費解体棟数の抑制、さらには災害関連死者数の減少、災害廃棄物の減量に繋がる対策にもなりうるものと考えられる。以上を踏まえ、RC構造で、基礎部分の剛性が高いもの、低層住宅のものは、建物直下に断層変位が出現しても、軽微な被害のみで、また修復も行いやすいものであることを確認した。盛土は、建物直下の断層変位被害を低減させる効果があることを確認した。

## 参考文献

- 1) 久田嘉章：2016年熊本地震の地表地震断層の近傍における建物の被害調査と活断層対策
- 2) 久田嘉章：地表地震断層の断層変位による建物被害と対策
- 3) 中筋章人・谷内正博・佐野正明・塚本哲・藤原賢也：1999年9月台湾大地震(集集地震)による被災概況、日本応用地質学会、p.155-164、2000/8/10
- 4) 内閣府ホームページ・内閣府 <https://www.cao.go.jp>
- 5) 国土交通省ホームページ [www.mlit.go.jp](http://www.mlit.go.jp)
- 6) 環境省ホームページ [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp)
- 7) 建築構造基準委員会・建築研究所熊本地震建築物被害調査検討委員会：熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会 報告書、国土技術政策総合研究所、2016/9
- 8) 九二一地震地質調査報告、經濟部中央地質調査所、2000/5
- 9) 熊本市ホームページ [www.city.kumamoto.jp](http://www.city.kumamoto.jp)