

1. まえがき

構造物の地震被害の多くは地盤条件の不連続点や埋没谷の上下逆転型地盤で発生し易く、構造物の変形は地盤の不同変位やすべりによる引っ張りや圧縮、振じれ等によって、また埋没谷における軟弱地盤の震動増幅等によって発生し、被害発生に地盤構造と地盤変位が大きく関係していること、さらに長周期成分が卓越する地震波によって被害が大きく発生しやすいことが推定されている^{1)~3)}。今回、前報¹⁾に続いて地盤構造と地震による構造物の傾斜や亀裂等の関係並びに構造物の変形発生機構について考察した結果を報告する。

2. 地震時に被害が発生し易い構造

これまでの地震被害例の調査結果によると、地震被害は地盤条件の不連続点等で多く生じている。また、地震時に問題が発生し易い箇所には建物の建築工法変化階(西市民病院や神戸市役所等⁴⁾)、リベット、溶接等による継ぎ手部(芦屋浜高層住宅の極厚鉄骨柱等)、コンクリート橋脚の鉄筋の段落とし部(阪神高速深江出入口付近大阪寄り橋脚等)、鋼管橋脚の中詰めコンクリート上端部、橋脚と基礎あるいは桁との接続部、住宅の柱頭あるいは柱脚部(芦屋浜高層住宅等)、電柱の付け根部(道路上の電柱等)、断面積変化部(芦屋浜高層住宅の極厚鉄骨柱等)等もあげることができ、これらはすべて硬さや形状を含む剛性変化点であり不連続点である。常時にも溶接部や隅角部や断面変化点等で変状が出易く、剛性変化点は地震時のみならず、常時にも変状が生じ易い所である。なお、地震被害は地盤条件の不連続点等で多いが、そのような地盤上の剛性変化点を有する構造物は大きな被害を受け易いといえるようである。地盤条件の不連続点等で生じる特異な地盤の動き(不同変位や滑り、あるいは埋没谷の大きい振動等)が原因で、構造物の剛性変化点に変位あるいは応力に大きい不連続性が生じ、即ちそれらの最大値や勾配が大きく生じて被害が発生することが考えられる。

3. 1995年阪神大震災による三宮駅前付近の主な建物被害⁴⁾と地盤状態の関係

(1) はば南北に長い神戸市役所2号館は6階が潰れてその上層階が北側と東側に移動した。旧版地形図⁵⁾によると、この建物はほぼ南北に細長い草地と荒地地の境界部にその境界線に斜めに交わるように作られている。草地は軟弱地盤で荒地地は自然堤防と思われるが、地震のとき軟弱地盤が自然堤防の長軸方向の南側に大きく動いたため、上層階が両方向へ移動したものと考えられる。

(2) 南西-北東方向に長い交通センタービルは中間階が潰れて上層階が右回りに回転した。即ち、下層階と地盤が左回りに回転したように動いた。旧版地形図⁵⁾によるとこのビルはほぼ東西方向の地盤面等高線と斜めに交わり、ビルの南西部が南側に地盤に引っ張られるように動いて回転が生じたようである。また、国際会館と三宮ビル北館と駅北側の日生三宮ビルも中間階が潰れたが、ともに上層階が右回りに回転し下層階と地盤が左回りに回転したように動いている。

(3) プランタン建物の西面に阪急三宮駅建物の東面と同様に、南上から北に下がる斜め亀裂も生じており、地盤が南側に大きく動いたことと対応しているようである。そごう建物の北面をみると東西両側の変形状態が異なり、旧版地形図⁵⁾によるとビルの地盤には東側に田圃の記号があるが西側になくその境界部に径があり、その径を境にして東西二つに割れたような変状が発生しており、両側の地盤状態が異なるようである。

4. 地盤の動きと構造物の変形状態の関係並びに構造物の変形発生機構の推定

例えばストラブスルー橋(1989年ロマプリータ地震)⁶⁾等のように地震時に平行に並んだ2本の橋桁のうち片方が特に大きく変状したり、橋軸直角方向に並んだ2本の橋脚のうちの1本が酷く被害を受けてその上の桁が傾斜したり落下したりすることがある。地盤の動きを付近の建物等の傾斜や亀裂から判断すると、傾斜地盤では下手(傾斜の下の方)より上手(傾斜の上の方)の橋脚、桁の変形程度が大きく、橋脚の斜め亀

裂が下手上より上手の方に下がり、水平地盤でも斜め亀裂が地盤の動きの起点方が上でそれより終点方下がる人が多いようである。このような変状の発生機構を次に推定してみることにする。

まず、図1は軟弱地盤上の杭基礎を有する建物に近接して盛土を施工した結果、建物が被害を受けた例を示す⁷⁾。盛土荷重によって軟弱地盤が沈下するとともに側方移動を起こして基礎杭が被害を受け、盛土に近い側のa列の杭が破損して左上から右下に下がる斜め亀裂が生じ、b列の杭は曲げ変形を生じて水平亀裂が生じたが、c列の杭は被害を受けなかった。その結果建物が盛土側に傾斜した。次に、1978年の宮城県沖地震のとき南北に長い沼の南端の埋立地で、長町郡山団地の東西に長いA棟建物が南側に傾斜した例を、図2に示す³⁾。地盤の埋立土層（礫混じりシルト層等）の下に軟弱粘性土層の下に基礎面が北側に傾いており、建物の短軸（梁間）方向が軟弱層の薄くなる南側に傾斜した。杭の亀裂をみると軟弱層の薄い方のG-1 通り杭の被害程度が大きく北上より南に下がる斜め亀裂が生じ、軟弱層の厚い方のF-2 通り杭の被害程度が小さく水平亀裂が生じた。なお、斜め亀裂の上端が圧壊しているの、地盤が地震時に軟弱地盤が厚くなる南から北の方向に大きく動いたことが推定される。以上の2つの例をみると荷重の種類が常時と地震時と異なるが、両者で建物と杭の変形状態と地盤の動きの関係が似ており、杭が地盤に押されるようにして荷重の作用側の杭にしかも荷重の作用に下がる斜め亀裂が発生し、荷重の作用側と反対側の杭の被害程度が軽く、その結果建物も作用側に傾いている。

このようなことを参考にとすると、前述の地震時の橋梁の被害も橋梁を橋軸直角方向に強く押すような地盤の動きによって発生したことが考えられる。そのような地盤の動きは埋没谷では上流側から下流側に、傾斜地盤では上手から下手側に生じることが多いようである。なお、地盤は下流側や下手側への動きよりも上流側や上手側への動きが小さいこともあり、そのため振動する構造物が下流側や下手側より上流側や上手側へ戻るときに原点に戻ることができなくて、即ち上流側や上手側の地盤に構造物の動きが制限されて、上述したような被害が発生することも考えられる。

6. あとがき

以上に、地震被害が発生し易い各種の構造をまとめた結果それは剛性変化点が多いことを述べるとともに、阪神大震災による建物の回転や亀裂の形態が地盤状態と関係があることを推察し、地震による橋梁の変形発生機構を建物の被害発生例を参考にして地盤構造との関係で類推した。今後も事例を多数収集して構造物の地震被害発生機構を調べていく予定である。

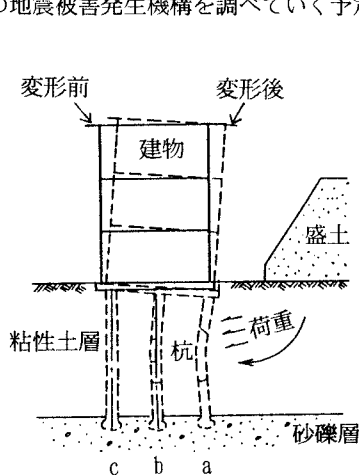


図1 常時の建物の被害例⁷⁾

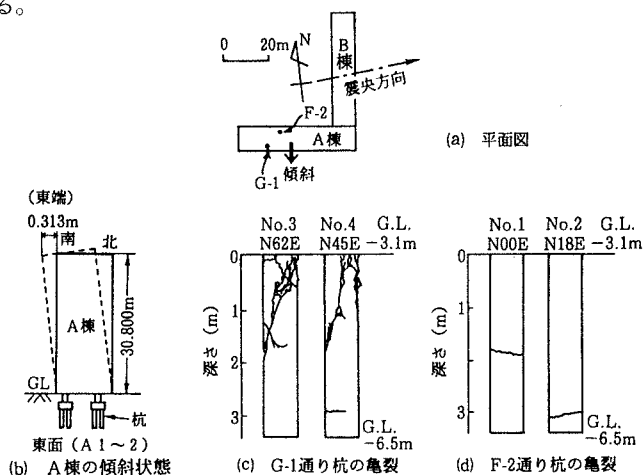


図2 地震時の建物の被害例³⁾

参考文献 (1)那須：地震による構造物変形への地盤の影響，第30回土質工学研究発表会，PS投稿中，1995。(2)那須他：盛土の動的応答と地盤構造との関係，鉄道総研報告，2-11，56/63，1988。(3)那須：地震被害形態と地盤形状及び土質構成の関係，鉄道総研報告，8-5，35/40，1994。(4)例えば，日経7-キチ7編：阪神大震災の教訓，日経BP社，1995。(5)地形図，1:2万，神戸，M18年測量 (6)那須：地震被害と地盤条件（その13），第11回日本自然災害学会学術講演会，68/69，1992。(7)小寺：欠陥，事故の原因と対策，八千代エナエリング(株)，1988。