

地震による建物被害への近接構造物と地盤の影響の考察

那須 誠¹・水出 有紀²

¹フェロー会員 前橋工科大学教授 工学部建設工学科（〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1）

²学生会員 前橋工科大学大学院工学研究科建設工学専攻（〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1）

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震（M=7.3）でもたらされた被害の中で、建物に変位が生じた例がある。これらの被害の中には、近接構造物と地盤がその変位に大きい影響を与えたと推定される事例が多くみられた。今回はそのような被害事例について被害形態と地形図、地盤状態などから考察を行う。

2. 変位を生じた建物の事例

表-1に1995年兵庫県南部地震で変位を生じた建物の例を示す。表-1に示した被害事例はみな層崩壊被害を生じている。さらに層崩壊した階の上層階が残留変位または傾斜などを生じている。このような変位の被害を発生する建物には、近接して比較的大きい建物などがある地盤と、道路などのような大きい建物のない地盤の両方には含まれているという特徴がある。また、被害を受けた建物は、旧田圃や盛土地などの、砂層や砂礫層の間に軟弱な粘性土層などを挟む地盤であったり、または地盤条件変化点があるなどといった地盤であるという特徴もみられた。以下に変位を生じた建物の主な特徴の詳細と、近接構造物および地盤状態を建物ごとに考察する。

3. 層崩壊した建物と近接構造物および地盤の関係

(1) 神戸市役所2号館

神戸市役所2号館は、図-1と図-2の被害写真のように6階部分が層崩壊して、さらにその上層階が北側に約1.5m、東側図の→印方向に少し残留変位を生じた。この建物には表-1に示したように、5階から6階にかけて剛性変化点があるため、地震時

にこの6階部分で層崩壊を生じたと考えられる。そのとき地階や基礎が図中の⇨印方向に地盤から力を受けたことが考えられる。

また、図-2の地形図（図-27までの地形図は地震後のもの）に示すように、神戸市役所2号館の北側には花時計や道路など大きな建物のない地盤があり、南側には超高層建物の神戸市役所1号館がある。また1885年旧版地形図⁴⁾で地震発生当時の神戸市役所2号館の位置を見ると、自然堤防と盛土地の境界部分が、建物の長軸方向と斜めに交わっている。図-2にこの境界線を示し、自然堤防および盛土地にあたる土質柱状図（調査位置は図-2参照）を図-3に示した。これをみると盛土地にあたるNo.1地点およびNo.2地点は深度が深くなってもN値があまり増加しておらず、N値の極小値（N値10未満）が存在している。さらに砂層や砂礫層の間に粘土層やシルトなどの軟弱粘性土層が含まれていることがわかる。これに比べて自然堤防上にあるNo.3地点およびNo.4地点は深度が深くなるにつれてN値は増加しており、N値の極小値は存在していない。さらに砂層や砂礫層の間に軟弱粘性土層も含まれていない。

(2) 神戸交通センタービル

神戸交通センタービルは、図-4の被害写真のように5階部分が層崩壊して、さらにその上層階が上空からみて右回りに振られながら、北東方向に約70cmの残留変位を生じた。この建物には表-1に示したように南北方向壁では2階から3階にかけて、東西方向壁では4階から5階にかけて剛性変化点があるため、地震時にこの5階部分で層崩壊を生じたと考えられる。

この建物は図-5の地形図に示すように、北側を線路（JR神戸線）の高架橋が通っており、南側お

表-1 1995 年兵庫県南部地震において変位を生じた建物の例

建物名	層崩壊階	主な特徴
1)神戸市役所 2号館 ¹⁾²⁾³⁾	6階	・5階～6階にかけて剛性変化点あり。 (・耐震壁のRC壁厚が5階以下20～50cm, 6階以上が12～18cm・柱断面が3～5階850mm×850mm, 6～7階650mm×650mm・5階途中までSRC造, それ以上がRC造。) ・地盤は南側に傾斜し, 建物北端と南端で高低差約60cmあり(*)。・東側の自然堤防と西側の盛土地の境界部が建物の長軸方向と斜めに交わっている(*) ¹⁾ 。・盛土地では砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれる ¹⁾⁵⁾ 。・層崩壊した6階の上層階が北側に約1.5m, 東側に少し移動。・8階部分にある1号館との渡り廊下が落下。・盛土地は自然堤防より約2m低い。・直接地業べた基礎。・B1F+8F。
2)神戸交通 センタービル ²⁾³⁾	5階	・2階から3階(南北方向壁), 4階から5階(東西方向壁)にかけて剛性変化点あり。 (・耐震壁のRC壁厚が東西方向壁で4階以下30～40cm, 5階以上15～18cm, 南北方向壁で2階以下40～50cm, 3階以上15～18cm・4階以下南北方向のみラース形式で, 他はタイプレート形式。) ・コア部が東に偏っている。・地盤の砂礫層の下の深度約10mに軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・建物北側に自然堤防あり(*)。・6階以上の上層階が上空からみて右回りに振られながら, 北東方向に約70cmずれた。・南北方向では水平, 東西方向では斜めのひび割れが多くみられた。・地下1階で損傷はみられなかった。・直接基礎。・B1F+9F。
3)そごう別館 ³⁾	1階	・地盤は旧田圃(*)で南側に傾斜し, 建物北端と南端で高低差約90cmあり。・旧田圃部分の常時微動のピーク値が大きい ⁶⁾ 。・べた基礎。・B3F+9F。
4)三宮ビル 北館 ³⁾	3階	・平面偏心あり・旧田圃部分と旧建物部分を跨ぐ(*)。・地盤は南側に傾斜し, 建物北端と南端で地盤に高低差約1m(*)あり。・旧田圃部分での常時微動のピーク値が大きい ⁶⁾ 。・東側の耐震壁が外側に膨らんで破壊。・4階以上はやや振れた状態になっていた。・直接基礎。・B2F+10F。
5)神戸市立 西市民病院 本館 ³⁾	5階	・1977年に6階以上を増築, 地震発生当時耐震補強工事中(1階から4階までの工事は終了し, 4階以下の剛性が大きい)。・地盤には砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・建物西側の約2/3が層崩壊。・1～4, 6階の中央柱がせん断破壊。・層崩壊した部分がほぼ南に変位。・杭基礎。・B1F+8F。
6)西宮商工 会議所 ³⁾	1階	・1階がRC造, 2階がRC造。・西側で1400～1600mm, 東側で2300～2500mm落階。・べた基礎。・2F。・旧田圃(*)。
7)三菱信託 ビル ²⁾³⁾	4階	・平面形状がひし形。・平面偏心あり。・建物直下の地盤には砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・北東角にコア部あり。・5階床が4階床に対して南東角で約数十cm水平に西にずれた。・層崩壊した上層階の床が南西方向に傾斜(屋上では南と西にそれぞれ約4度の傾斜)。・B2F+8F。
8)明治生命 ビル ²⁾³⁾	5階	・平面形状が凸型。・建物西側の地盤には砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・自然堤防の北西端部の旧生田川河道上の盛土地にこの建物あり(*)。・層崩壊した上層階が西に約5度傾いた(建物最上部の倒れ寸法約2.2m)。・5階東端の耐震壁は落階に至らなかった。・層崩壊した5階以外には, 6階の被害が大きかった。・4階以下の被害は少なく, 特に地階はほぼ無被害だった。・直接基礎。・B3F+12F。
9)日本生命 三宮ビル ²⁾³⁾	4階	・地盤は南側に傾斜し, 建物北端と南端で高低差約60cmあり, 南端が低い。・砂礫層の下の地盤の深度約10mに軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・B1F+12F。
10)神栄ビル ³⁾	3階	・建物西の地盤に砂層の下に軟弱粘性土層が含まれる ⁵⁾ 。・B1F+7F。
11)さんぽラサ ビル ²⁾³⁾	8階	・地盤には建物の北端と南端で高低差約1mあり(*)。・地盤の常時微動のピーク値が大きい ⁶⁾ 。・直接基礎。・B2F+10F。
12)御幸ビル ³⁾	3階	・旧田圃(*)。・建物北端と南端で地盤に高低差約65cmあり(*)。
13)国際会館	7階	・層崩壊した上層階が上空からみて左回りに振れた。やや南西に傾いている。

*は1885年旧版地形図⁴⁾による

よび東側には大きな道路が通っている。また建物の地盤の土質柱状図をみると, 深度約10mに軟弱粘性土層が含まれており, N値も10付近になっている。

(3) そごう別館

そごう別館は, 図-6の被害写真のように1階部分で層崩壊した。

この建物は図-7の地形図に示すように, 北側に層崩壊被害を受けた三宮ビル北館, 北西には大きな被害を受けたそごう百貨店, 西側には層崩壊被害を

受けた国際会館がある。また1885年旧版地形図で地震発生当時のそごう別館の位置を調べると, 旧田圃部分に建物があることがわかる。

(4) 三宮ビル北館

三宮ビル北館は, 図-8の被害写真のように3階部分が層崩壊して, さらにその上層階が上空からみて右回りに振られていることがわかる。表-1に示したように, この建物の東側の耐震壁が全長に渡って膨らんで破壊している。この建物には東側にのみ



図-1 被害写真(北東角)²⁾



図-2 地形図と土質柱状図調査位置 (文献5) に追加
1885年旧版地形図から引いた地盤境界線
・, ⇨, - - -: 図-7 参照, 以下同じ
No.1~4: 土質柱状図調査位置

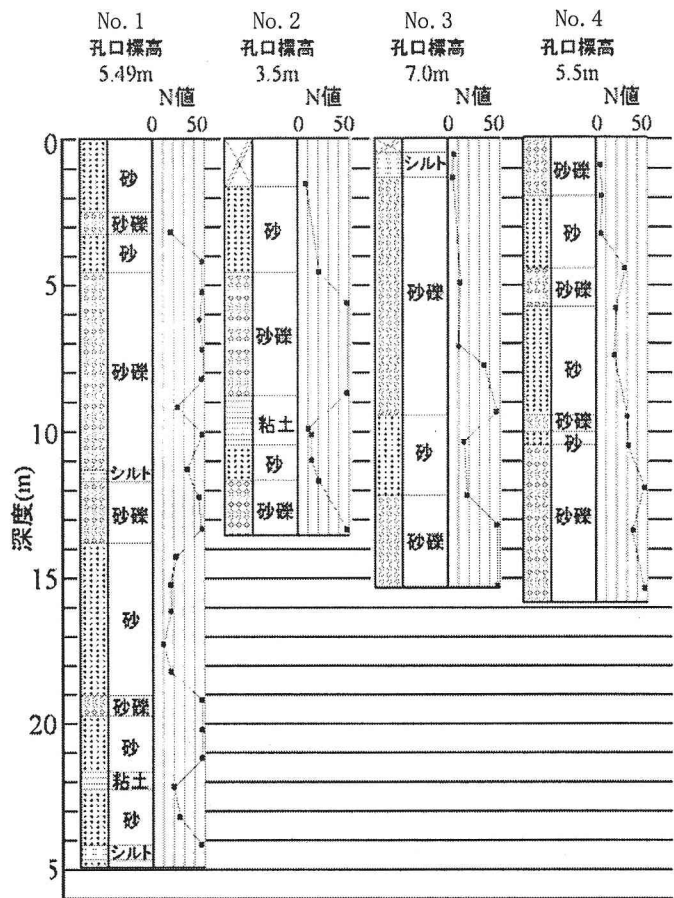


図-3 土質柱状図⁵⁾ (調査位置は図-2 参照)

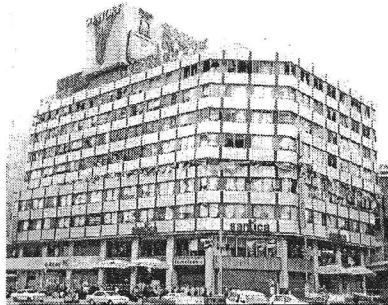


図-4 被害写真(南東角)³⁾

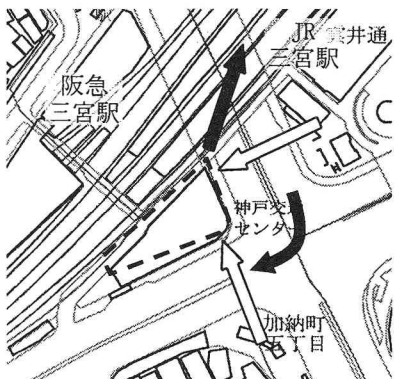


図-5 地形図 (文献5) に追加

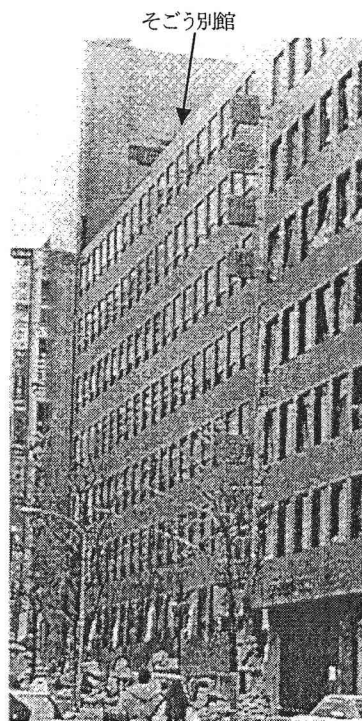
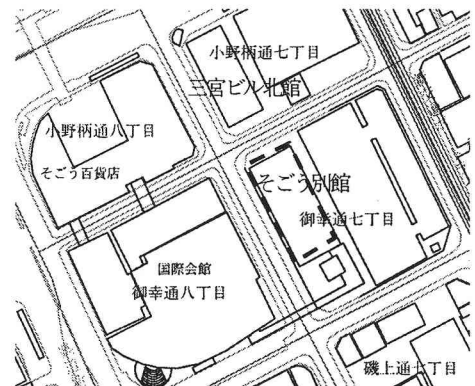


図-6 被害写真(西面)³⁾



⇨: 地盤から受けた力(推定)
・: 上層階が変位した方向
- - -: 変位後の上層階の位置

図-7 地形図 (文献5) に追加

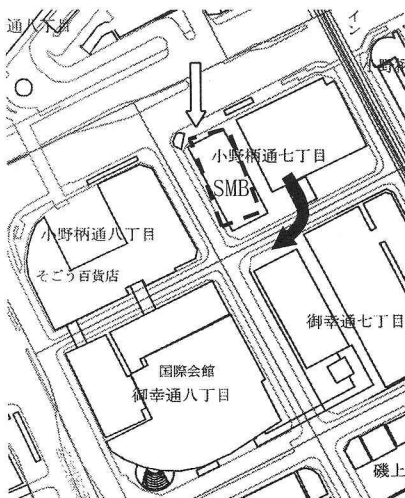
耐震壁が配置されている他、建物北側を大きな道路が通っている。

この建物は図-9 の地形図に示すように、建物東

側には、同じく層崩壊被害を生じた日本生命三宮ビルがある他、建物西側にそごう百貨店、南側に国際会館、南東側にそごう別館など、周囲には層崩壊被



図-8 被害写真（北東角）⁷⁾



SMB：三宮ビル北館
図-9 地形図（文献 5）に追加

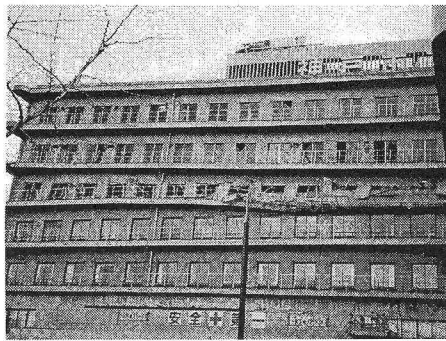


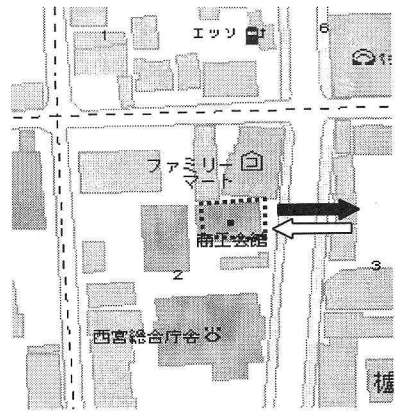
図-10 被害写真（北西面）⁹⁾



図-11 地形図（文献 5）に追加



図-12 被害写真（南東面）³⁾



⇨：地盤から受けた力（推定）
⇨：上層階が変位した方向
---：変位後の上層階の位置

図-13 地形図（文献 5）に追加

害を生じた建物が集まっている。建物北側には大きな道路が通っている。また 1885 年旧版地形図で地震発生当時の三宮ビル北館の位置を調べると、旧田圃と旧建物部分を跨いでいて、特に旧建物部分にあたるのは三宮ビル北館の東側部分になっていることがわかる。

(5) 神戸市立西市民病院本館

神戸市立西市民病院本館は、図-10 の被害写真のように 5 階部分のうち、建物西側の約 3 分の 2 が層崩壊して、さらにその上層階が南側に残留変位を生じた。この建物は表-1 に示すように 6 階以上を増築しており、地震発生当時は耐震補強工事中で、1 階から 4 階までの工事のみ終了しているなど、5 階から 6 階にかけて剛性変化点があったため、地震によって 5 階部分が層崩壊したと考えられる。

この建物は図-11 の地形図に示すように、建物北側に比較的新しい神戸市立西市民病院北館があり、建物南側には道路や住宅など、大きな建物のない地盤となっている。さらにこの建物の地盤の土質柱状

図⁵⁾をみると、砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれており、特に深度 20m 付近までの N 値は、深度が深くなってもあまり増加しておらず、N 値が 10 未満となるような極小値も存在する。

(6) 西宮商工会議所

西宮商工会議所は、図-12 の被害写真のように 2 階建てのうち 1 階のピロティ部分が層崩壊した。このとき、表-1 に示したように西側で 1400～1600mm、東側で 2300mm～2500mm 落階した。このことから、東側に少し残留変位を生じていると推定される。

この建物は図-13 の地形図に示すように、北側および西側、南側に比較的大きな建物があり、東側にはやや広い道路が通っている。また 1885 年旧版地形図で地震発生当時の西宮商工会議所の推定位置を調べると、旧田圃部分にあたることをわかる。

(7) 三菱信託ビル

三菱信託ビルは、図-14 の被害写真のように 4 階部分が層崩壊し、さらにその上層階が南東角で数十

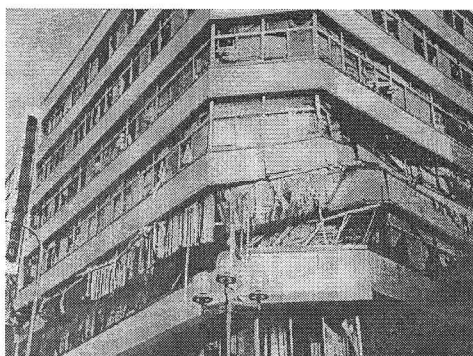


図-14 被害写真（南西角）³⁾

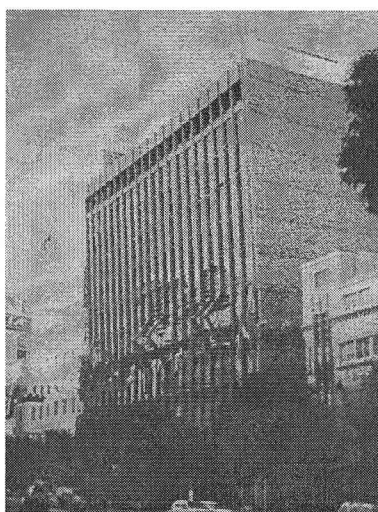


図-16 被害写真（西面）³⁾

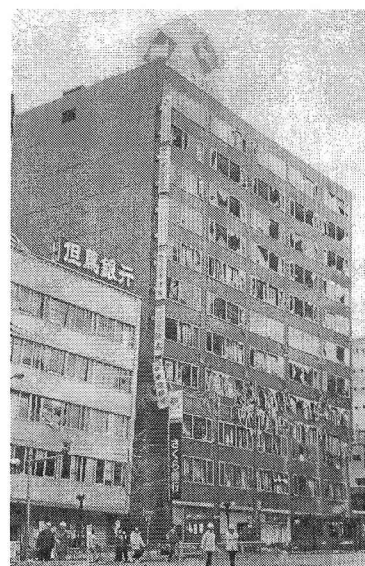
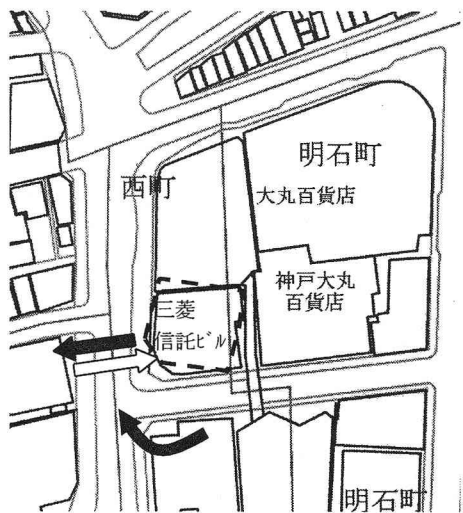


図-18 被害写真（東面）³⁾



⇒：地盤から受けた力（推定）
 ➡：上層階が変位した方向
 ---：変位後の上層階の位置

図-15 地形図（文献 5）に追加



図-17 地形図（文献 5）に追加



図-19 地形図（文献 5）に追加

cm の残留変位を生じた他、層崩壊した階の上層階が南側および西側に約 4° ずつ傾斜が残留した。

この建物は図-15 の地形図に示すように、北側から東側にかけて大きな建物があり、西側および南側には道路が通っている。さらにこの建物の地盤の土質柱状図をみると、砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれており、N 値も深度が深くなってもあまり増加していない。しかし建物南西の道路脇の土質柱状図⁵⁾をみると、砂礫層の下に軟弱粘性土層は含まれておらず、N 値も深度が深くなるにつれて増加していることがわかる。1885 年旧版地形図で地震発生当時の三菱信託ビルの位置を調べると、この建物がある場所は旧外国人居留地で、当時も建物があった場所であることがわかる。また西側および南側を通る道路の位置には 1885 年当時も道路が通っていたことがわかる。

(8) 明治生命ビル

明治生命ビルは、図-16 の被害写真のように 5 階

部分が層崩壊して、さらにその上層階が西に約 5° 傾いて、建物最上部において倒れ寸法約 2.2m の残留変位を生じた。また、建物 5 階東端の耐震壁は落階に至らなかった。

この建物は図-17 の地形図に示すように同じく層崩壊被害を受けた神戸市役所 2 号館の近くにある。建物西側に大きな道路（フラワーロード）があるが、1885 年旧版地形図から、ここは自然堤防の北端部の旧生田川河道であることがわかる。また土質柱状図⁵⁾をみると、建物西側の旧生田川河道（現フラワーロード）部分の地盤には、深度 40m を超えた部分にも砂礫層の下に軟弱粘性土層が含まれており、N 値もあまり増加していないことがわかる。

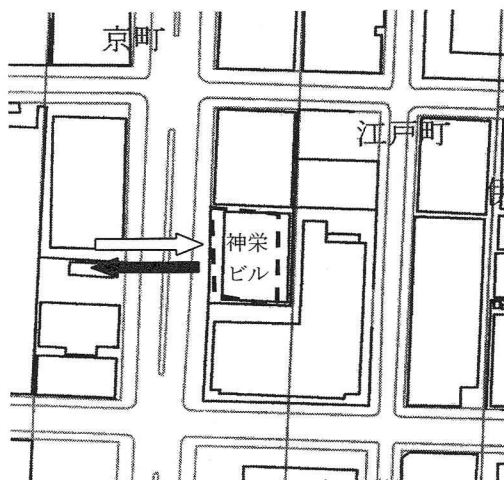
(9) 日本生命三宮ビル

日本生命三宮ビルは、図-18 の被害写真のように 4 階部分が層崩壊して、さらにその上層階が上空からみて右回りに振れていることがわかる。

この建物は図-19 の地形図に示すように、西側を



図-20 被害写真（西面）³⁾



⇨：地盤から受けた力(推定)
 ➡：上層階が変位した方向
 ---：変位後の上層階の位置

図-21 地形図（文献 5）に追加

大きな道路が通っている。また土質柱状図⁵⁾をみると、建物の地盤には深度約 15m のところに軟弱粘性土層が含まれており、N 値もあまり増加していない。1885 年旧版地形図で地震発生当時の日本生命三宮ビルの位置を調べると、建物東側を通っている大きな道路は旧生田川河道であることがわかる。

(10) 神栄ビル

神栄ビルは、図-20 の被害写真のように 3 階部分が層崩壊し、さらにその上層階が西側に残留変位を生じていることがわかる。

この建物は図-21 の地形図に示すように、北側および東側を比較的大きな建物に囲まれている他、西側に道路とポータライナー（高架橋）が通っている。1885 年旧版地形図で地震発生当時の神栄ビルの位置を調べると、この建物がある場所は旧外国人居留地（盛土地）となっており、1885 年当時も建物があったこと、また西側を通る道路の位置にはこの当時にやや大きい道路が通っていたことがわかる。

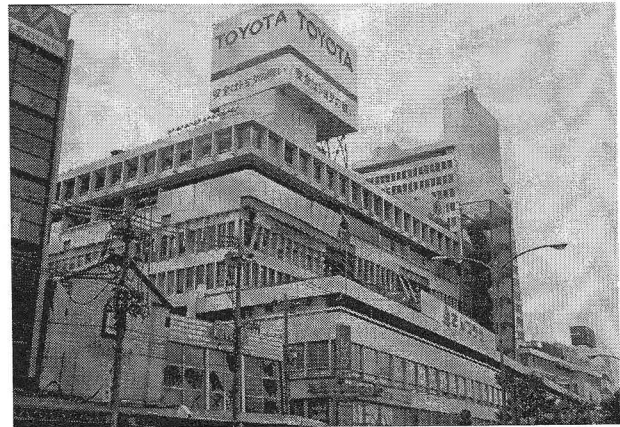


図-22 被害写真（北面）⁷⁾

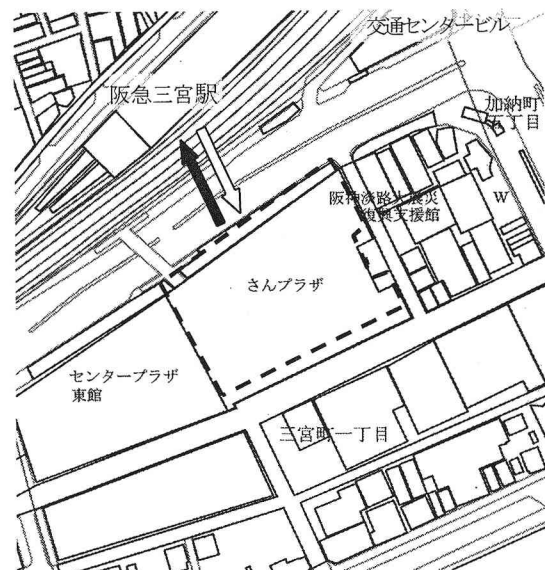


図-23 地形図（文献 5）に追加

(11) さんプラザビル

さんプラザビルは、図-22 の被害写真のように 8 階部分が層崩壊し、さらにその上層階が北側に残留変位を生じていることがわかる。

この建物は図-23 の地形図に示すように北側に JR 神戸線の手前に大きな道路が通っており、南側には北側に比べて小さい道路と建物がある。

(12) 御幸ビル

御幸ビルは、図-24 の被害写真のように 3 階部分が層崩壊し、さらにその上層階が北西方向に残留変位を生じていることがわかる。

この建物は図-25 の地形図に示すように建物の東側および南側を比較的大きな建物に囲まれており、北側および西側に道路が通っている。1885 年旧版地形図で地震発生当時の御幸ビルの位置を調べると、旧田圃部分にあたることをわかる。



図-24 被害写真（北西角）⁷⁾



図-26 被害写真（南角）⁷⁾



⇒：地盤から受けた力(推定)
 ➡：上層階が変位した方向
 ---：変位後の上層階の位置

図-25 地形図（文献 5）に追加



図-27 地形図（文献 5）に追加

(13) 国際会館

国際会館は、図-26 の被害写真のように 7 階部分で層崩壊し、さらにその上層階が上空からみて左回りに振れており、南西方向に残留変位を生じている。

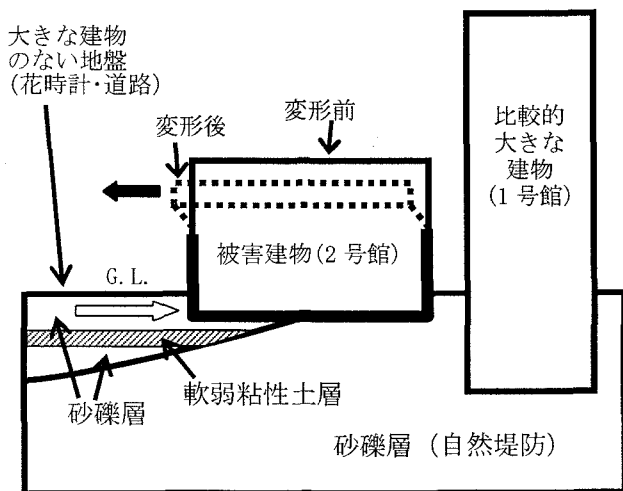
この建物は図-27 の地形図に示すように建物北側から西側にかけて、地震によって被害を受けたそごう百貨店など大きな建物に囲まれている。さらに西側には大きな道路（フラワーロード）が通っている。1885 年旧版地形図をみると、地震発生当時の国際会館の部分は旧田圃部分にあたり、さらに西側を通っている大きな道路（フラワーロード）は旧生田川河道であることがわかる。

4. 被害機構の推定とまとめ

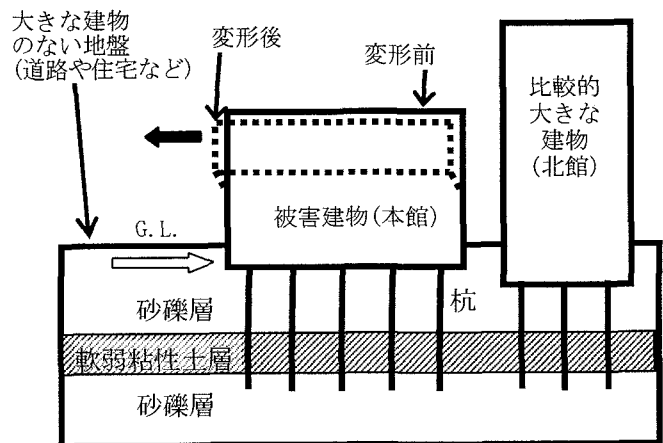
以上で述べた被害事例について、建物の変位に影響を与えたと推定される近接構造物および地盤について、表-2 にまとめた。被害事例(1)～(13)をみると、どの建物も旧田圃や盛土地など、軟弱な粘性土層や腐植土層を挟む地盤（以下軟弱地盤という）上にあるかまたは同軟弱地盤上と硬い地盤上に跨っているという特徴がある。また例として図-28 に神戸市役所 2 号館、図-29 に神戸市立西市民病院本館の被害機構の推定図を示した。即ち、大きな建物のない地盤（道路など）から建物地階部分や基礎等が⇒印方向に力（偏土圧）を受けて、その反作用で➡印

表-2 建物の変位に影響を与えたと推定される近隣構造物および地盤

被害建物	被害建物の地盤	近接構造物	
		大きな建物がない地盤	大きな建物がある地盤
(1) 神戸市役所 2 号館	自然堤防と盛土地の境界部分	花時計・道路	神戸市役所 1 号館
(2) 神戸交通センタービル	砂礫層の下に軟弱粘性土層あり	道路	線路 (JR 神戸線)
(3) そごう別館	旧田圃	—	—
(4) 三宮ビル北館	旧田圃と旧建物の境界部分	道路	そごう百貨店・そごう別館
(5) 神戸市立西市民病院	砂礫層の下に軟弱粘性土層あり	住宅など	西宮市民病院北館
(6) 西宮商工会議所	旧田圃	道路	西宮総合庁舎など
(7) 三菱信託ビル	砂礫層の下に軟弱粘性土層あり 旧外国人居留地	道路	大丸など
(8) 明治生命ビル	砂礫層の下に軟弱粘性土層あり	道路 (旧生田川河道)	建物
(9) 日本生命三宮ビル	砂礫層の下に軟弱粘性土層あり	道路	建物
(10) 神栄ビル	旧外国人居留地	道路	建物
(11) さんプラザビル	—	道路	比較的小さな道路・建物
(12) 御幸ビル	旧田圃	道路・ポートライナー	建物
(13) 国際会館	旧田圃	道路 (旧生田川河道)	比較的小さな道路・そごう百貨店など



⇒ : 地盤から受けた力 (推定)
➡ : 上層階が動いた方向
図-28 被害機構の推定図 (その 1)
(例: 神戸市役所 2 号館)



⇒ : 地盤から受けた力 (推定)
➡ : 上層階が動いた方向
図-29 被害機構の推定図 (その 2)
(例: 神戸市立西市民病院本館)

方向に層崩壊した階の上層階が残留変位または傾斜したか、あるいは被害建物周辺にある比較的大きな建物が被害建物の基礎地盤の動きを止める作用を強めたために、その反作用で層崩壊した階の上層階が残留変位または傾斜するという被害が生じたと推定される⁸⁾。以上をまとめると、これまでに述べてきたいずれの建物被害も、基礎が地盤から大きい偏土圧のような力を受けて発生したことが推定される。

おわりに、以上の調査で引用させていただいた文献の著者に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 水出有紀, 那須誠: 神戸市役所建物の地震被害における地盤の影響の研究, 第 38 回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2099-2100, 2003.
- 2) 日本建築学会編: 阪神・淡路大震災調査報告書, 建築編-

- 1, pp. 165-170, 183-189, 231-241, 289-290, 1997.
- 3) 日本建築学会編: 阪神・淡路大震災調査報告書, 建築編-2, pp. 219-230, 304-313, 464-465, 1998.
- 4) 柏書房編: 明治前期・昭和前期 神戸都市地図, pp. 45, 1995.
- 5) 神戸の地盤研究会編: 神戸 JIBANKUN, 1999.
- 6) 藤原悌三他: 平成 7 年兵庫県南部地震の被害調査に基づいた実証的分析による被害の検証, 資料編, 兵庫県域における合同微動観測, pp. 66-82, 1996.
- 7) 神戸大学付属図書館震災文庫ホームページ: 震災写真館 (大木本美通), 2003.
- 8) 那須誠: 橋梁等構造物の地震被害への隣接構造物の影響の考察, 第 6 回地震保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 223-280, 2003.
- 9) 日本建築学会編: 1995 年兵庫県南部地震災害調査速報 p. 140, 1995.
- 10) gooホームページ: <http://www.goo.ne.jp/>, 2003. 12.