

# 平成28年熊本地震による橋梁等の被害と地盤の関係の考察

那須 誠<sup>1</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 元前橋工科大学 工学部建設工学科（〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢2-34）

## 1. はじめに

平成 28 年熊本地震で多数の橋梁や建物等が被害を受けたので、被害調査報告書や空中写真、地形図、地質図等の資料を収集して、被害と地盤との関係を考察した。その結果、過去の本シンポジウムで報告したように、いわゆる異種支持地盤状態で被害を受けている橋梁や建物等が幾つかあり、かつ変形方向と地盤構造とのよい関係も認められたので、それらの結果を報告する。

## 2. 構造物の地震被害と地盤構造と基礎構造の関係

1) 先ず、これまでの調査によって盛土や建物、橋梁等の構造物の地震被害は地盤の不連続点で多いことが明らかになっており、構造物の地震被害と地盤及び基礎構造との関係をまとめた結果を次に示す<sup>1), 2)</sup>。

1) 地盤の不連続点では図-1<sup>1)</sup>に示すように3種類の地盤変位が発生し、その変位変化(不同沈下や水平変位差からなる不同変位, 相対変位)が地震時に大きく発生し、水平距離に対する変位勾配(微分値)即ち広義の歪も大きく集中する。この歪には次に示すようにせん断歪と垂直歪があり、(a)鉛直断面内(面内方向)の不同沈下量と水平距離の比としてせん断歪 $\gamma_V$ 、(b)紙面垂直方向面外方向)の水平変位差と水平距離の比としてせん断歪 $\gamma_T$ 、(c)紙面平行方向(面内方向)の水平変位差と水平距離の比として垂直歪 $\epsilon_L$ が求められる。なお、地盤変位は図と逆方向に発生する場合もあり、広義歪は地

震波のSV波, SH波, P波の地盤歪と類似であるし、軟質地盤が水平堆積の場合の広義歪は0で地震時に平行移動するので被害が発生しない。

地震時の地盤変位や地盤歪に対応する構造物被害(変形)も図-1に示すように、3つ即ち(a)地盤の不同沈下( $\gamma_V$ 相当)による構造物の不同沈下被害(せん断変形)、(b)地盤の水平変位差( $\gamma_T$ 相当)による構造物の捩れ変形被害(せん断変形)、(c)地盤の水平変位差( $\epsilon_L$ 相当)による偏土圧(特に圧縮側の受働土圧)による基礎あるいは上部工の変形被害が考えられる。

なお、図-1の軟質地盤は一様な単層でなく、図の左端枠内に示すように砂礫層(あるいは砂層、礫層)と軟弱粘性土層(腐植土層含む)の互層からなる地盤であることが多いし、図-1の各作用力は実際には単独でなく複合して作用することがある。また、このような歪が発生するところでは構造物が地盤変位追従型でなく抵抗型になるため被害が発生するも

地盤の歪と構造物の変形の関係 (構造物には橋梁、建物、盛土を含む)			
	(a)	(b)	(c)
地盤変位と歪	面内方向 (鉛直変位)	面外方向 (紙面垂直方向水平変位)	面内方向 (紙面平行方向水平変位)
地盤変位と歪の求め方	せん断歪	せん断歪	垂直歪
ここで、	鉛直変位差(不同沈下) $\Delta V = V2 - V1$ せん断歪 $\gamma_V = (V2 - V1) / L$	水平変位差 $\Delta H_T = (HT2 - HT1)$ せん断歪 $\gamma_T = (HT2 - HT1) / L$	水平変位差 $\Delta H_L = (HL2 - HL1)$ 垂直歪 $\epsilon_L = (HL2 - HL1) / L$
作用地震力	(面内方向の水平変位の場合) 不同沈下 せん断力	(面外方向の水平変位の場合) せん断力	(面内方向の水平変位の場合) 偏土圧(衝撃力)
橋梁の変形	不陸等(せん断変形)	捩れ変形(せん断変形)	橋脚間隔変化、橋脚折損等(せん断変形)
建物の変形	不同沈下(せん断変形)	捩れ変形(せん断変形)	層崩壊等(せん断変形)
盛土の変形	不同沈下	捩れ変形	伸縮、崩壊

図-1 地盤の不連続点と構造物の地震時変形の関係<sup>1)</sup>

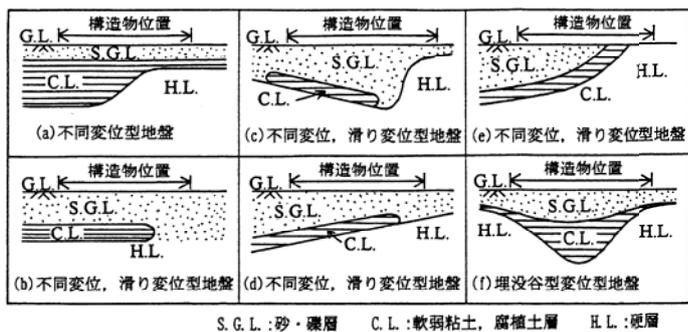


図-2 地震被害が生じやすい地盤の土層構成<sup>2)</sup>

	基礎無し(直接基礎)	基礎有り(摩擦杭)	基礎有り(支持杭)
連続地盤	(a) 無被害 G.L. 構造物 硬地盤あるいは軟地盤 硬地盤	(b) 無被害 G.L. 構造物 杭 軟地盤 硬地盤	(c) 無被害 G.L. 構造物 軟地盤 杭 硬地盤
不連続地盤(互層地盤)	(d) 無被害 G.L. 構造物 GS SC 硬地盤	(e) 無被害 G.L. 構造物 GS 杭 SC 硬地盤	(f) 被害 G.L. 構造物 GS 杭 SC 硬地盤
不連続地盤(水平・鉛直方向)	(g) 被害 G.L. 構造物 GS 硬地盤 SC	(h) 被害 G.L. 構造物 GS 杭 硬地盤 SC	(i) 被害 G.L. 構造物 GS 杭 硬地盤 SC

- (1) 構造物には盛土、建物、橋梁等を含む。
- (2) 基礎には杭、井筒、地下室等を含む。
- (3) G.L.: 地盤面, GS: 砂、礫層, SC: 軟弱粘土、腐植土層
- (4) (g)~(i): 異種支持地盤
- (5) (g)~(i)において、GS+SCが軟地盤(SC)の単層の時も被害有り。

図-3 地震被害が生じやすい地盤と基礎構造の関係<sup>2)</sup>

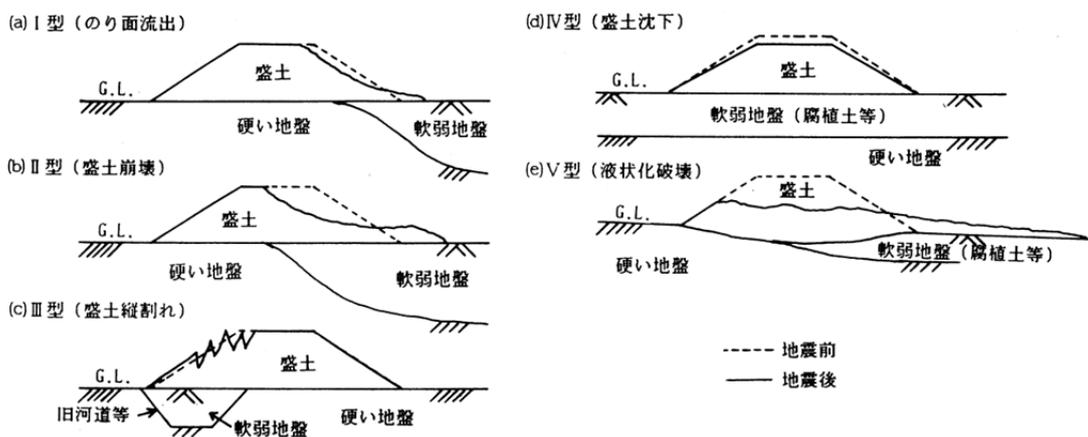


図-6 盛土の地震被害と地盤構造の関係<sup>2)</sup>

のと考えられる。

2) 構造物に地震被害が発生しやすい地盤の構造(形状と土層構成)と基礎の関係等を図-2~5に示す<sup>2)</sup>。

図-2は構造物の地震被害は主として地盤条件の変化点(力学的に不連続な所等)である硬軟地盤境界

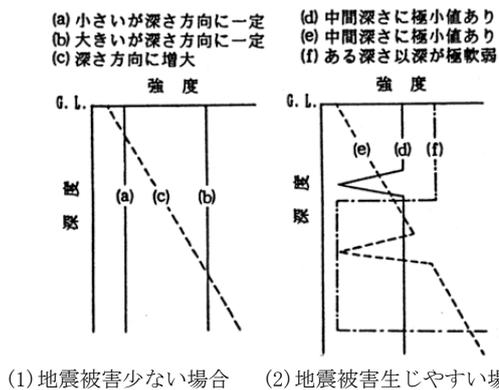


図-4 地盤強度の深度分布<sup>2)</sup>

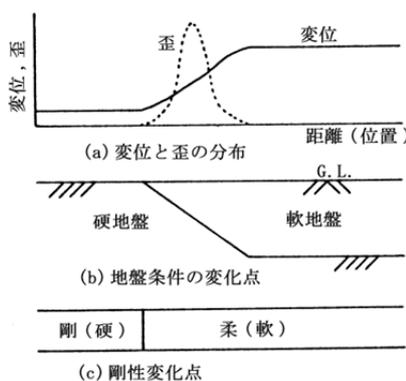
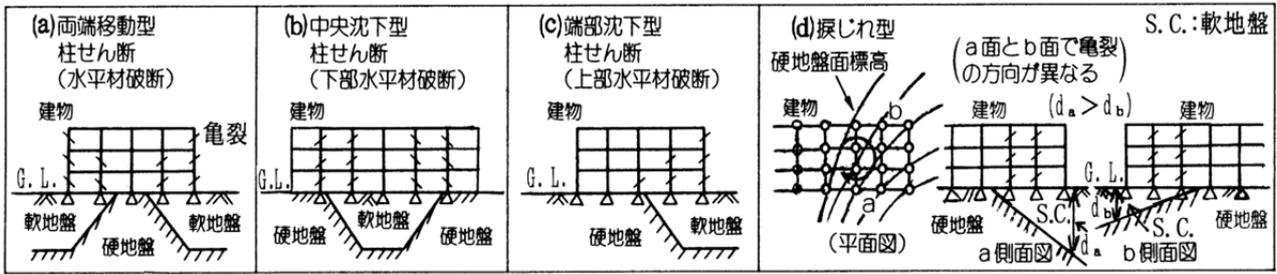


図-5 剛性変化点の変位と歪の分布<sup>2)</sup>

部や軟弱粘性土層厚さの急変部で生じやすく、さらに低強度の土層(粘土や腐植土等)からなる軟弱粘性土層を部分的に挟む地盤、例えば砂・礫層の下に軟弱粘性土層がある互層地盤(上下逆転型地盤)等で多く、水平・鉛直方向に不連続な(不均質な)地盤で生じやすいことを示す。図-3は、基礎の無い場合と有る



・地盤は埋没丘や谷を含み、基礎は杭や井筒等を含む。a, b, c でも紙面に直角な方向に被害を受けることがある。

図-7 地震による建物の変形と地盤構造の関係<sup>2)</sup>

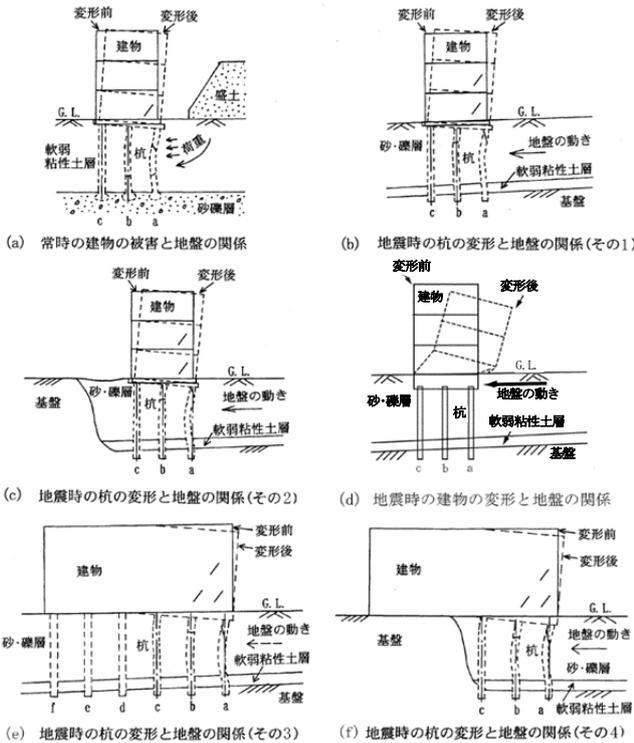


図-8 建物の地震被害と杭と地盤の関係<sup>2)</sup>

場合(支持杭, 摩擦杭等)に関係なく, 硬軟土質を問わず表層の連続な地盤(均質な地盤)では被害が少ないことを示す。

図-4 は地盤強度の深度分布と各種構造物の地震被害発生との関係を示し, 図-4(1)の場合に被害が少なく, 図-4(2)の場合に被害が多くみられる。図-4(2)は互層地盤(上下逆転型地盤)である。

3) 構造物の躯体や基礎の地震時の変形パターン即ち崩壊や傾斜方向, 亀裂あるいは落橋等の発生状況も地盤構造に対応する 경우가多く, その例は後述する。

なお, 建物や橋梁等の杭の亀裂等の損傷は埋立地盤等で地盤と杭やフーチングの間に空隙ができるようなところで多く, フーチングが自然堆積の比較的硬い砂礫層等に設置されている場合は杭よりも構造躯体に損傷が多くみられる。これは地盤状態によって地盤から受ける力の作用点が杭であるかフーチングであるか異なるためと推定される。

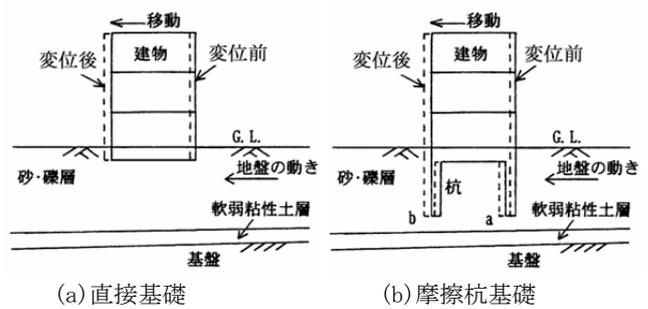


図-9 地震で無被害の建物の基礎と地盤<sup>2)</sup>

4) 地震被害は硬軟地盤境界部(図-2(f))のしっかりした基礎によって作られる人工的な境界部も含む)で生じやすいが, 硬軟地盤境界部で構造物の剛性変化点で被害が発生しやすい。これらの剛性変化点は図-5 に示すように上記の地盤条件の不連続点と同様に歪が集中するところである。

5) 盛土や建物, 橋梁の地震被害と地盤構造  
a) 盛土の地震被害は地盤条件の不連続点(硬軟地盤境界部)で発生しやすく, 図-6 に被害と地盤構造の関係を示す。盛土はその強度よりも被害に地盤構造が大きく関係する。

b) 建物の地震被害は硬質地盤では殆どみられず, 地盤条件の不連続点の硬軟地盤境界部に作られた建物は地震で図-7のような被害を受けやすく, 建物の変形や亀裂も地盤状態に対応して発生する(杭基礎やケーソン基礎等を持つ建物でも同様)。

支持杭基礎を持つ建物と杭の常時あるいは地震時の被害は図-8 のように発生し, 直接基礎や摩擦杭基礎を持つ建物では, 図-9 のように基礎・構造物系が地盤の動きに追随して動いて地盤に抵抗しなかったり, あるいはその抵抗が小さいため偏土圧を受けないので被害が生じないことが推定される。

硬質地盤と軟質地盤の間に不同変位(沈下や水平変位)が発生して被害が発生し, 軟地盤が硬地盤に対して比較的大きく地盤境界線に平行にずれて発生する被害もみられる。地震時の建物被害は建物や基礎を強く押すような地盤の動き(偏土圧)で発生することが推察されるし, 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。

c) 橋梁の地震被害は水平・鉛直方向に不連続な地盤

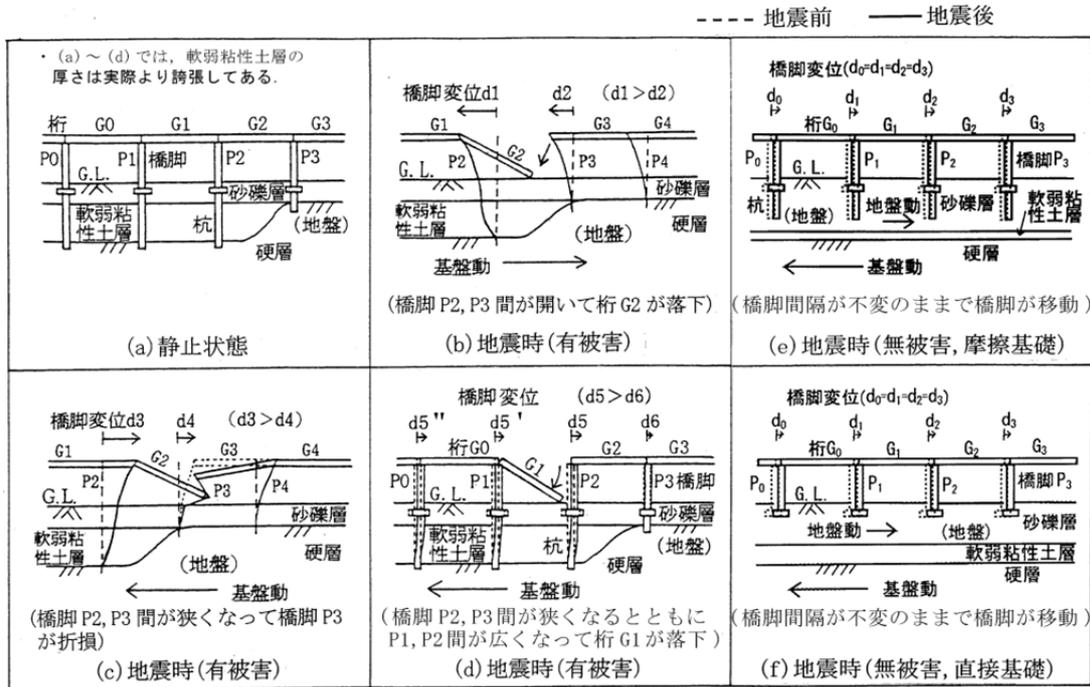


図-10 橋梁の地震被害機構の推定例(軸方向)<sup>2)</sup>

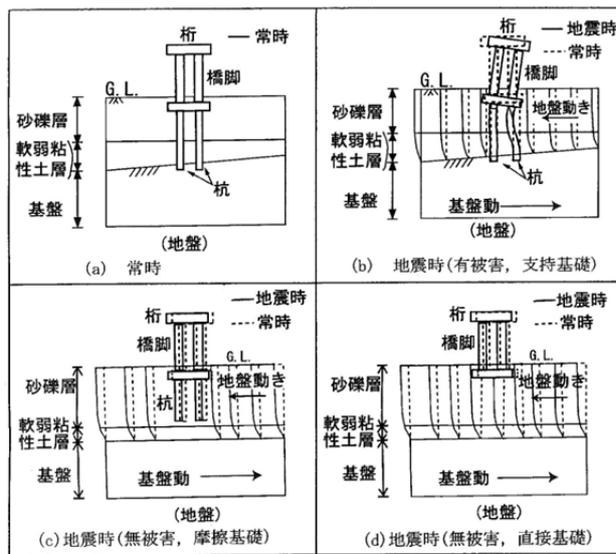


図-11 橋梁の地震被害機構の推定例(軸直角方向)<sup>2)</sup>

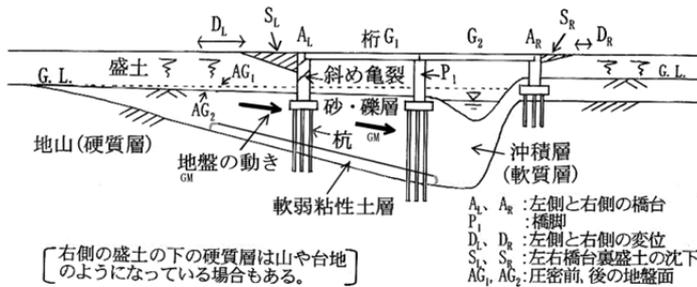


図-12 橋梁の軸方向の変形と地盤の関係<sup>2)</sup>



図-13 阿蘇大橋の位置地形図<sup>3)</sup>



図-14 阿蘇大橋の被害位置写真<sup>23)</sup>

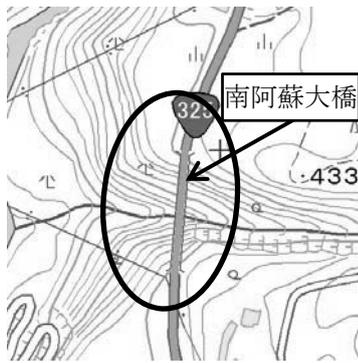


図-15 南阿蘇大橋<sup>3)</sup>

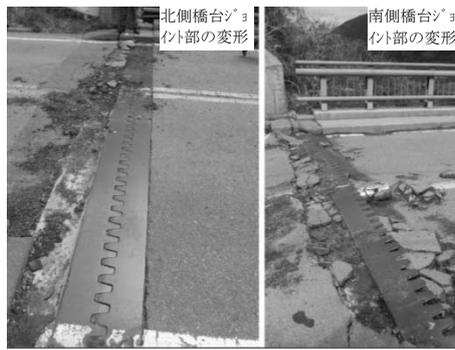


図-16 南阿蘇大橋の被害<sup>4)</sup>



図-17 阿蘇長陽大橋<sup>3)</sup>



図-18 阿蘇長陽大橋付近の被害写真<sup>4)</sup>



図-19 阿蘇長陽大橋の被災前の写真<sup>4)</sup>

で多く、両者の関係を図-10～11に示す(基礎には杭のほかにケーソン等の場合も含み、土層が傾斜している場合もある)。橋梁の被害は動く地盤(動きの大きい地盤)と動かない地盤(動きの小さい地盤)の境界部で被害が生じ、主に地盤変位差(不同変位)やそれに伴って生じる偏土圧によって被害が生じることが考えられる。なお橋梁が水平方向に一律な地盤に摩擦基礎や直接基礎で作られている場合は地盤の動きに構造物が追随し地盤から力を受けないため被害が出難いと考えられる。

また、河川を横断する橋梁の、軸方向の地震時の変形と地盤形状の関係を図-12に示す。一般に河川の地盤の横断形状は谷形状を示すが、左右の谷斜面勾配は異なり、地震時には緩勾配側の谷斜面の方が急勾配側の谷斜面よりも大きく変位して橋梁に被害が発生することが多い。谷斜面を構成する地盤の土質(軟質か硬質か)や形状(流れ盤か受け盤か)の違いが影響しているものと考えられる。

### 3. 平成28年熊本地震の被害と地盤の関係

#### 1) 橋梁

a) 図-13<sup>3)</sup>に示すように、阿蘇大橋が架かる黒川の流れる谷の斜面は相対的に西側(図の左側)が急勾配で東側(図の右側)が緩勾配である。ここでは熊本地震で急勾配側の谷の西側の山の斜面が大崩壊すると

ともに、橋梁も被害を受けている(図-14<sup>23)</sup>)。第1章で述べたように地震では緩勾配側の谷斜面側の地盤が大きく変位して橋梁が被害を受けることが多いので、今回の阿蘇大橋の崩落は山の大崩壊の崩土による影響が大きかったことが推察される。

b) 図-15<sup>3)</sup>に示すように、南阿蘇大橋の下の谷斜面の勾配は相対的に北側が緩く、南側が急である。ここでは熊本地震で図-16に示すように北側橋台ジョイント部よりも南側橋台ジョイント部がひどく圧縮状態で損傷している<sup>4)</sup>。それは北側の斜面地盤が南側と比べて大きく変位して(地滑りを起こして)、桁を南側に押し出したため北側橋台ジョイント部よりも南側橋台ジョイント部がひどく圧縮状態で損傷したことが考えられる。なお、文献4)の被害写真によると、南側斜面が崩壊し、斜面勾配も南側が緩勾配のようであるが、地震後の衛星写真(グーグルマップス・アース、2016.6.14保存)によると、北側橋台側の地盤が南側橋台側の地盤よりも大きく変形しているようである。

c) 阿蘇長陽大橋は図-17<sup>3)</sup>に示す位置に存在し、熊本地震で図-18に示すように南西側橋台付近の地盤が大きく変形している<sup>4)</sup>。被災前の写真(図-19<sup>4)</sup>)と比べると南西側橋台付近の地盤が熊本地震で橋軸直角方向の谷側に大きく変形(地すべり)していることが分かる。その影響で橋台が大きく変形しているが、写真の撮影時点では橋桁への影響は比較的小さかつ

たのではないかと推察される。しかし、地震後の衛星写真(グーグルアース, 2016.6.14 保存)<sup>5)</sup>をみると、南西側橋台側の地盤が大きく崩れているのがみられ、橋桁も大きく変形しているようである。この衛星写真でも北東側の地盤には変形は殆どみられないようである。

阿蘇長陽大橋の下の谷斜面の南西側の勾配は北東側の勾配より緩く、緩い勾配の方の谷斜面側の地盤に地滑りが発生している。なお、図-17の北東側の橋台前面の斜面は単調でなく途中に段差を伴う斜面であり、各々の斜面勾配は南西側の斜面勾配よりも小さい。

d) 上記の熊本地震による橋梁の被害が地すべり状の地盤変位で被害が出ているが、過去の地震で地すべりの影響で大きく変形した事例として2008年岩手・宮城内陸地震(M=7.2)による国道342号・祭時大橋の被害が挙げられる<sup>6)</sup>。この橋では図-20<sup>7)</sup>に示すように、A1橋台とP1橋脚の移動、P2橋脚の崩壊、主桁座屈、支承破断、床版破壊等が発生した。それは地震動により破壊された地山(不動地山)がA1橋台とP1橋脚を乗せた状態で、秋田側から一ノ関側に約11m移動したためと考えられた<sup>7)</sup>。ここの地盤(不動地山)は地震時の地山の移動方向に、秋田側から一ノ関側の方向に流れ盤状態で存在し、地盤は砂岩主体であるが薄い泥岩層を挟んだ成層状態にある<sup>8)</sup>。そのために地盤が地震で移動(地すべり)したことが推察される<sup>6)</sup>。しかも、図-20をみると地すべり側の地震前の谷斜面(図の左側)勾配(約34度)が右側の斜面勾配(約44度)より緩いことが分かる<sup>6)</sup>。

## 2) 建物

a) 既に行われた調査結果から、建物等の地震被害は地盤の不連続点で多く発生し<sup>2)</sup>、その境界部(例えば、図-21の範囲A)は地盤変位が急変して不同地盤変位が発生して、歪が集中しやすいところである(例えば、図-22)<sup>9)</sup>。

熊本地震で熊本県益城町でも被害の多発地域が発生しているが<sup>10)</sup>、その地域はほぼ県道28号線を境にして北側の軽石・凝灰角礫岩・溶結凝灰岩からなる火山砕屑物-4層と、南側の礫・砂・泥からなる段丘堆積物層の境界部<sup>11)</sup>の後者側で主に発生している。それは剛性変化点での損傷が剛(硬質)な部位と柔(軟質)な部位の境界部の後者側で発生するのと似ている(図-5参照)<sup>1)</sup>。そのような傾向は文献10)に示す臨時地震観測結果からも読み取ることができるようである。

なお、同地震で被害を受けた益城町役場では、南側の同庁舎・北側の議会棟間の渡り廊下西側壁面の北下がりの斜め亀裂(図-23)と、南側の庁

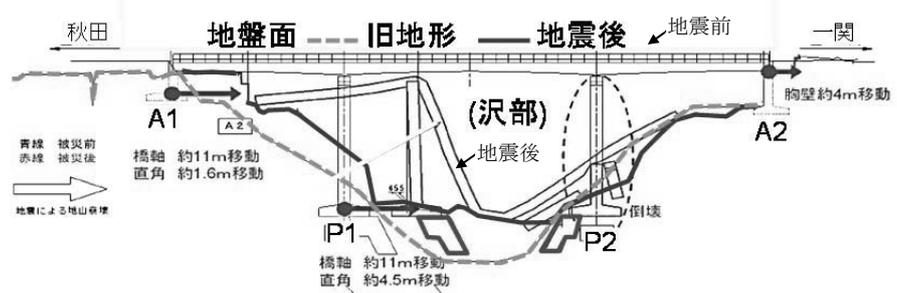


図-20 祭時大橋の地盤状態と躯体と地盤の変形<sup>7)</sup>

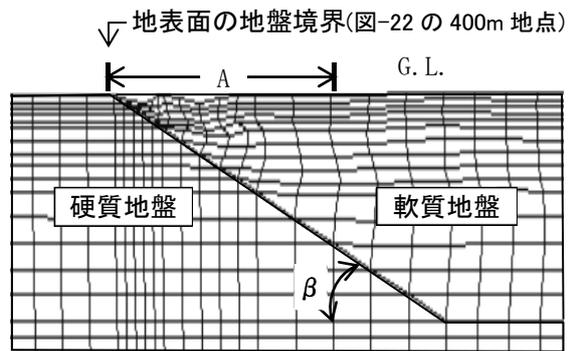


図-21 硬軟地盤境界部の地震時の変形例(地震応答解析結果)<sup>9)</sup>

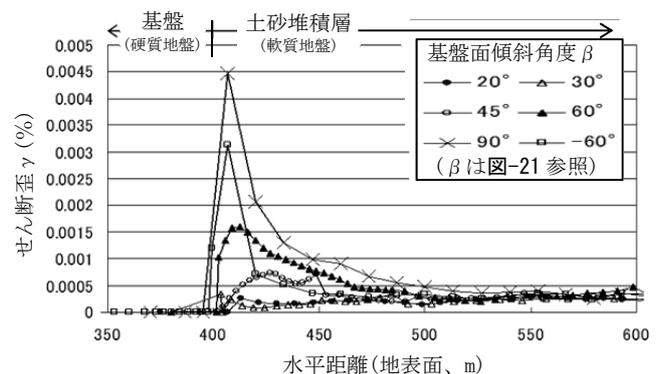


図-22 地盤表面のせん断歪の最大値の分布(地震応答解析結果)<sup>9)</sup>



図-23 益城町役場の渡り廊下の亀裂等(本震後、西面)<sup>13)</sup>

舎の北面基礎沿いの地盤亀裂<sup>12)</sup>から、庁舎が沈下したために渡り廊下の北下がり斜め亀裂が発生したこと、あるいは庁舎がそれが載る地盤(盛土)の南側(盛土の厚くなる南側)に変位したこと、建物基礎が受働土圧を受けて建物が南側に変位したために渡り廊下の北下がり斜め亀裂が発生したこと等が推察される。地盤の南側への地震時の変位は庁舎玄関前の銅像の南側への傾斜からも推察される。

b) 熊本地震で1階部分が層崩壊したピロティー建物が幾つか発生したが、そのうちの1つの事例と地盤の関係の推定結果を次に示す。図-24のOKT建物は熊本市中央区にあるRC造3階建であるが、地震で1階が層崩壊し西側に傾斜している。図-25は地震前の建物とその西方向の風景を示す。この図によると建物の西側の道路両端に高欄があり、しかもその脇の民家が道路より低く建てられている。ここは谷地形になっていることが分かる。このことは地震前のグーグルアース写真<sup>17)</sup>からも分かる。以上から推定すると、谷地形の東側の斜面上に盛土されて駐車場あるいは建物がつくられていて、地震時にその盛土が建物の基礎フーチングや地下室等を強く押し込んだ(受働土圧を作用させた)ため1階が層崩壊したことが考えられる(図-8(d)のタイプ)。建物の西側の柱の損傷が東側に比べて大きく西側に建物が傾斜したのは西側から強い地震力(受働土圧)を受けたためであり、その東隣にある7階建てのピロティー建物の被害が報告されていないようであり、しかも過去の地震でも多くみられる層崩壊建物の傾斜が隣接建



図-24 ピロティー建物の被害例(北西面、中央区)<sup>14)</sup>



図-25 図-24の地震前の建物と西側の風景(文献17)に加筆



図-26 建物の被害例<sup>14)</sup>

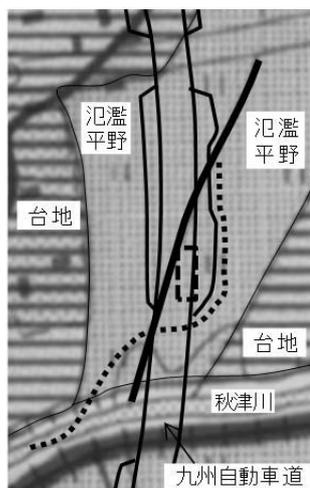
物と反対側の地盤側や道路側に発生していることが多く、層崩壊に対して盛土(地盤)の影響(受働土圧の作用)の大きいことが推察される。

c) 今回の熊本地震で益城町等で被害を受けた建物を見ると、元々傾斜がある地盤に盛土等で敷地を整地して建てられたものが多い。例えば、図-26<sup>14)</sup>が挙げられるが、ここではブロック塀の段数から原地盤面が傾斜していることが推定される。同様な地盤での建物被害は2004年新潟県中越地震<sup>15)</sup>や2014年長野県神城断層地震(2014年長野県北部地震、

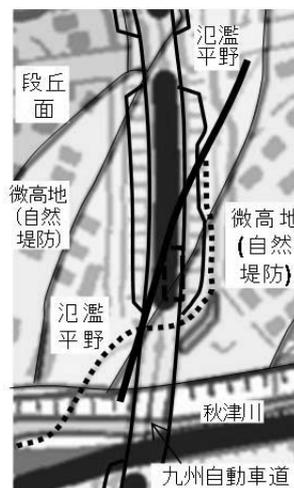
破線枠: 陥没箇所, 太実線: 治水地形分類図(初版)の河道, 点線: 現河道



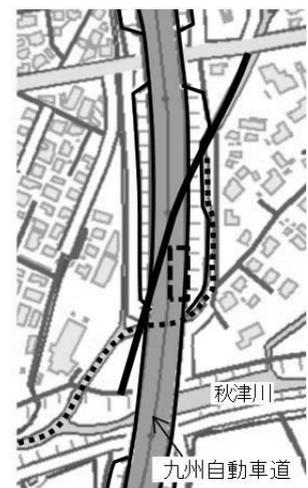
(a) 空中写真<sup>18)</sup>



(b) 治水地形分類図(初版)<sup>19)</sup>



(c) 治水地形分類図(更新版)<sup>20)</sup>



(d) 地理院地図<sup>21)</sup>

図-27 九州自動車道の道路陥没箇所(福富地区)の各種図面比較

M=6.7)<sup>16)</sup>等でもみられる。このような地盤での地震被害に対しては盛土等の様でない地盤あるいは盛土・地山境界部での不同地盤変位(水平変位,鉛直変位あるいは捩じれ変位)等の影響が考えられる。

### 3) 盛土

熊本地震で九州自動車道の盛土(福富地区)が崩壊した。その崩壊位置が図-27<sup>18)-21)</sup>の(a)空中写真と(d)地理院地図(標準地図)に示されている。同図の(b), (c)図は付近の新旧治水地形分類図(初版と更新版)である。破線四角枠は陥没箇所,太実線は治水地形分類図(初版)の河道,点線は現河道を示す。

予め崩壊部付近で現在の河道が自動車道を直角に横断しており,同盛土の建設時に人工的に河道の移設が行われたことが推察されたが,これらの図面より建設に伴って河道移設が行われたことが確認できた。崩壊部は旧河道に近接しており,旧河道部と隣接地山の境界部も不連続点になる。しかし,崩壊は同図の(c)図をみると明らかなように氾濫平野と微高地(自然堤防)の境界部の氾濫平野側で発生している。氾濫平野は軟質地盤,微高地(自然堤防)は硬質地盤であるといえるので,地震時にこのような地盤の不連続点の影響(主として地盤の不同変位の発生等)の方が大きく現れて崩壊に至ったものと考えられる。このような地盤の不連続点での盛土(堤防を含む)の地震被害は過去の地震でも多数発生している<sup>22)</sup>。

## 4. おわりに

今回の熊本地震で橋梁や建物,盛土等の各種構造物の被害が多数発生したが,今回はそのうち主な被害を取り上げて地盤との関係を考察してきた。それによると以上に述べた被害の殆どが地盤の不連続点で発生しており,過去の地震被害と同様な地盤で発生していることが分かった。地盤の不連続点は地震で不同地盤変位が発生しやすいところであり,今回の地震でもそれが主な原因となって被害が発生したことが推察される<sup>1)</sup>。なお,今後とも地震被害と地盤関係の調査を継続して深度化する予定である。

最後に,今回の調査で多数の文献を引用や参考にさせて頂くとともに,多くの方々にお世話になっておりますので,関係者には厚く御礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 那須誠:各種構造物の地震被害機構と地盤不連続点の関係,第31回地震工学研究発表会講演論文集, No.2-129, 2011. 11
- 2) 那須誠:地震による被害構造物と無被害構造物の地盤の違い,土木建設技術シンポジウム2003論文集, pp. 299-306, 2003. 7.
- 3) 地理院地図(電子国土 web), 標準地図, 2016. 5. 9 保存.

- 4) 秋山充良:土木学会,平成28年(2016年)熊本地震地震被害調査結果速報会資料,構造物調査報告2, 2016. 4. 27, HomePageより保存.
- 5) グーグルアース, 2016. 6. 14 保存.
- 6) 那須誠:地すべりなどで変位した構造物と地盤の関係,土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, I-227, pp. 453-454, 2009. 9.
- 7) 平成20年2008年岩手・宮城内陸地震災害調査報告書, 5. 1. 2. 2 祭時大橋, 2009. 6.
- 8) 岩手県南広域振興局一関総合支局土木部編:国道342号祭時大橋視察資料(第63回土木学会全国大会, 岩手・宮城内陸地震被害技術調査配布資料), 2008. 9.
- 9) 那須誠:兵庫県南部地震による被害集中領域発生と地盤の関係(その2, より実物に近い地盤モデルの地震応答解析), 第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集(2007年2月), pp. 255-262.
- 10) 秦吉弥:地震動・地盤震動, 土木学会・平成28年(2016年)熊本地震地震被害調査結果速報会資料, H. P., 2016. 4. 27
- 11) 土地分類基本調査, 御船, 表層地質図, 2016. 5. 2 保存.
- 12) 京都大学建築保全再生学講座調査速報・2016kumamoto, HomePageより2016. 4. 20 保存.
- 13) 国総研, 建築研究所編:平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第一次調査報告(その2, 4月12日(本震後)調査結果速報), 2016. 4. 22
- 14) 日本建築学会「2016年熊本地震」地震被害調査速報会配布資料, p. 21, p. 32, 2016. 5. 14.
- 15) 那須誠:新潟県中越地震における各種構造物の被害と地盤の関係, 土木建設技術シンポジウム2007論文集, III-1, pp. 155-162, 2007. 8.
- 16) 那須誠:長野県神城断層地震(2014年長野県北部地震)による各種被害への地盤の影響, 第42回土木学会関東支部技術研究発表会, I-35, 2015. 3.
- 17) グーグルマップ・ストリートビュー, 2015年2月撮影, 2015. 5. 15 保存.
- 18) 国土地理院撮影, 熊本中央地区, No.519, 2016. 4. 16 撮影, 益城・高速, 2016. 5. 26 保存.
- 19) 地理院地図(電子国土 web), 治水地形分類図, 初版(1976-78年), 2016. 5. 8 保存.
- 20) 地理院地図(電子国土 web), 治水地形分類図, 更新版(2007-2014年), 2016. 5. 8 保存.
- 21) 地理院地図(電子国土 web), 標準地図, 2016. 5. 8 保存.
- 22) 那須誠:盛土の地震被害と地盤構造, 鉄道総研報告, Vol. 3, No. 8, pp. 50-57, 1989. 8.
- 23) 地理院地図(電子国土 web), 写真, 平成28年熊本地震, 西原2地区正射画像, 2016. 4. 20 撮影.