

各種構造物の問題発生への不連続点の影響

那須 誠

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

地震被害は地盤条件の不連続点で多く, しかも橋梁や建物等の地震被害発生部位に剛性変化点が多くみられることと, それらの被害機構を考察して既に発表している. 今回はさらに, 1) 常時に各種構造物の変形が発生しやすい地盤, 2) 地震時以外の常時に構造物に問題が出た部位, 3) 各種地盤災害発生個所(雨災害や河川災害など), 4) 路盤変状, 路盤や地盤の陥没, 橋脚基礎の洗掘, トンネル変状, トンネル微気圧波, レール変状と著大輪重, 5) その他の構造物の変状を調べた. その結果, 各種構造物の問題は地震時と常時に関係なく地盤条件変化点や部材剛性変化点, 透水性変化点, 気体弾性率急変点, 電気抵抗急変点など, 即ち各種の不連続点で多く発生していることが分かった.

キーワード: 各種構造物, 被害を受けやすい部分, 地盤条件の変化点, 不連続点, 剛性, 電気抵抗, 透水性, 気体の体積弾性率

1. はじめに

これまでに各種構造物の地震被害は地盤条件の不連続点で多く生じ, 構造物の変形状態も地盤構造に対応すること, それは主として地盤変位(不同変位)と偏土圧等によって発生することを推察してきた. また, 橋梁や建物等の地震被害発生部位の殆どが剛性変化点であること¹⁾⁻⁵⁾, さらに降雨による斜面・法面災害は地盤条件の不連続点と地盤の透水性の不連続なところで多く生じていることも明らかにしてきた⁶⁾⁻⁸⁾. ここではそれらにとともに, 常時の他の各種構造物の問題発生点との関連性について考察する⁹⁾¹⁰⁾.

2. 各種構造物の損傷と問題発生例

(1) 各種構造物に地震被害が発生しやすい箇所

各種構造物の地震被害は, 地盤条件の不連続点で多く生じ, さらに構造物に問題が発生しやすい部位にはその剛性変化点があげられる. その地盤条件の変化点には, 自然にでき硬軟地盤境界部としっかりした基礎のために人工的に作られた地盤条件変化点がある¹⁾⁻⁵⁾. それらの代表例を以下に示す⁹⁾¹⁰⁾.

(a) 硬軟地盤境界部(地盤条件の変化点)で地震被害を受けた構造物として, 盛土(図-1の鯉川・鹿渡間の盛土等¹⁾), 建物(八戸東高校校舎等), 橋梁(昭和大橋等)その

他があり(図-2¹¹⁾, 図-4³⁾), しっかりした支持杭等の基礎によって人工的に作られた地盤条件変化点では建物と新幹線高架橋や深江地区高架橋等があげられる(図-3¹¹⁾, 図-5³⁾).

(b) 地震で被害を受けやすい構造部材の位置には, 継ぎ手部, 溶接部, 隅角部, 剛性変化部, 断面積変化部, 板厚変化部等がある³⁾⁵⁾.

鋼橋では, 橋脚の板厚変化部(図-6, 9, 10)¹²⁾¹³⁾, 補剛リブ端部(図-7¹²⁾), 基部補剛材(リブ)上縁(図-8¹²⁾), 隅角部(図-7, 8)¹²⁾, 各種継ぎ手部, 溶接部(図-6, 7, 9)¹²⁾¹³⁾, 中詰コンクリート上端部(図-9~11)¹²⁾¹³⁾, 根巻きコンクリート上端部(図-9~11)¹²⁾¹³⁾等(阪神高速道路橋梁等)がある.

コンクリ

ート橋では, 橋脚の帯筋間隔変化部, 柱脚部(橋脚と基礎やフーチン

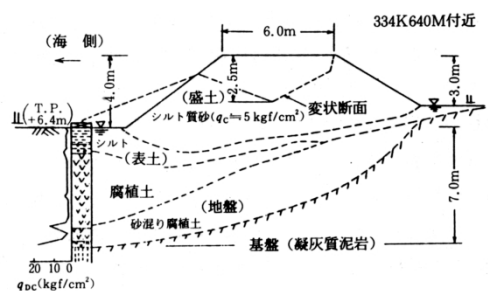
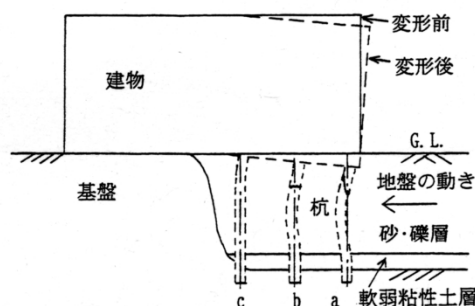


図-1 盛土の地震時変形と地盤¹⁾



グとの接続部),柱頭部(橋脚と桁や梁との接続部),鉄筋の段落とし部(名取川橋梁や七北田川橋梁(図-12)¹⁴⁾,深江本町地区高架橋の橋脚(図-13¹³⁾¹⁵⁾等),杭と基礎フーチングの接続部(図-11¹²⁾)等がある。

建物では,建築工法変化階(柱太さの変化部,柱剛性の変化部;西市民病院や神戸市役所等),ボルトやリベット,溶接等による継ぎ手部(芦屋浜高層住宅の極厚鉄骨柱等),溶接部(芦屋浜高層住宅の極厚鉄骨柱等)があり,図-14¹⁶⁾では柱の後側の溶接部から亀裂が発生した),住宅の柱頭部(柱と桁との接続部)あるいは柱脚部(柱と基礎・フーチングとの接続部;芦屋浜高層住宅等),断面積変化部(芦屋浜高層住宅の極厚鉄骨柱等),基礎フーチングと杭との接続部等がある⁴⁾⁵⁾。

また,電柱は地盤や橋梁への付け根部等で被害を受けやすい(道路上の電柱や建有高架橋上の電柱(図-15¹⁰⁾)等)。

(c)日本海中部地震のとき石油タンクは普段から発生した不同沈下の方に中の液体の揺動が生じて被害を受けている(図-16)¹⁷⁾。

(d)兵庫県南部地震による震度Ⅶの領域(震災の帯)は,図-17¹⁸⁾に示すように六甲山麓において岩盤と土砂堆積地盤の境界部でしかも後側で発生した²⁾。これは地盤条件の変化点即ち硬軟地盤境界部の軟質地盤側で発生しており,地震被害が一般的に地盤条件の変化点で相対的に軟らかい側で発生し易いことと類似である²⁾。

(2)地震以外で構造物に問題が出やすい部位

地震時以外で構造物に問題が出やすいところとして,電柱の地盤への付け根部,梁と柱の接続部,各種継ぎ手部や構造部材の板厚変化部,隅角部,溶接部,断面積変化部,断面形状変化部等がある¹⁰⁾。

(3)常時に盛土や建物,橋梁等の構造物が変形しやすい地盤

常時に盛土や建物,橋梁等の構造物が変形しやすい地盤として,異種支持地盤状態にある構造物(硬軟地盤境界部に作られた構造物)や異種支持基礎を持つ構造物等があげられる⁹⁾¹⁰⁾。

図-18¹⁹⁾は鉄道盛土で完成後しばらくたってから常時に変状が著しく大きくなったところの地盤と盛土の断面図を示す。このように常時の降雨災害以外の盛土変状は施工時も含めて,極軟弱地盤(腐植土等からなることが多い)の厚さが急変する硬軟地盤境界部で多くみられる⁸⁾。また,軟弱地盤でも盛土に崩壊が発生しなかった例もあるが⁷⁾²⁰⁾,そこでは軟弱層が一様に堆積している。

(4)各種地盤災害発生箇所

各種地盤災害発生箇所として硬軟地盤境界部と地盤中の透水性不連続点があげられる(図-19⁷⁾)。その代表例を以下に示す。良好地盤上の盛土崩壊箇所(区界の盛土等)は地山の湧水個所に盛土されて発生し,長野市の地付山の地滑りは地滑り層末端部にあった泉の湧く池の埋立地に作られており,ともに盛土による透水性の低下が原因と推定される⁷⁾⁻⁹⁾²¹⁾。

盛土崩壊は硬軟地盤境界部でも発生しており,それには非降雨時と降雨時の崩壊がある。前者には図-18の盛土⁹⁾¹⁹⁾や野場盛土等,後者には能登線盛土や向山・三沢間盛土等が該当し,能登線盛土や向山・三沢間盛土位置は地盤中の湧水が盛土によって低下したと推定される地点(透水性の不連続点)でもある。また,降雨の際の切取等の斜面崩壊も地盤中の透水性不連続点でみられる⁷⁾。

(5)路盤変状

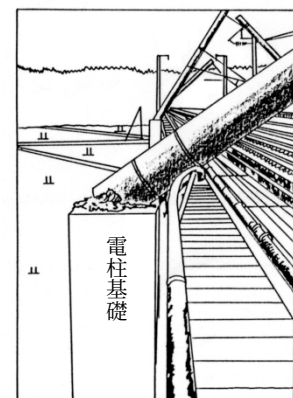
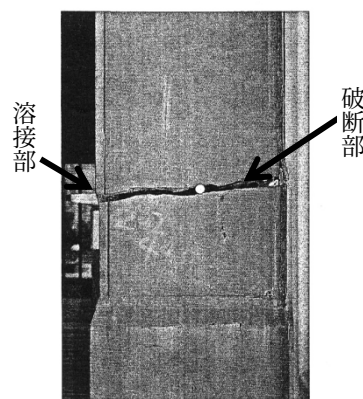
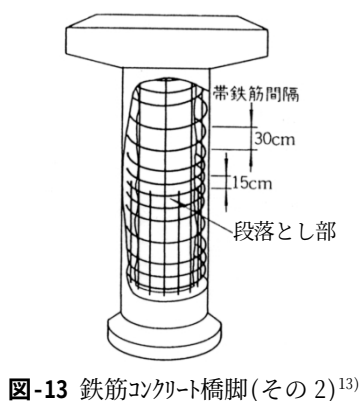
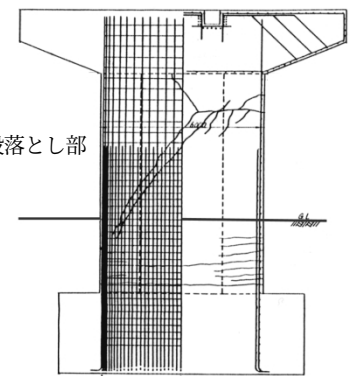
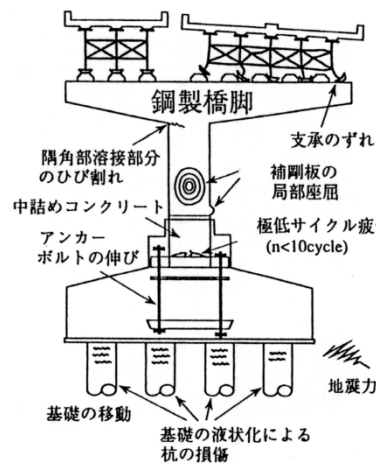
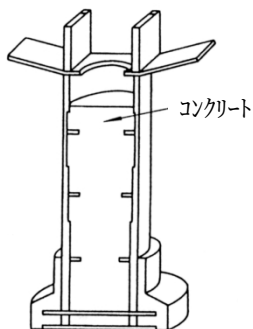
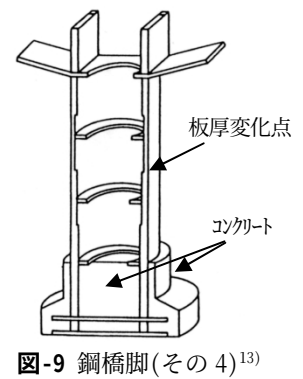
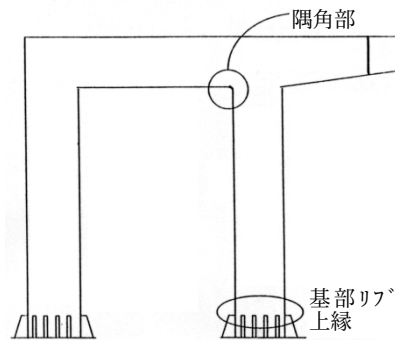
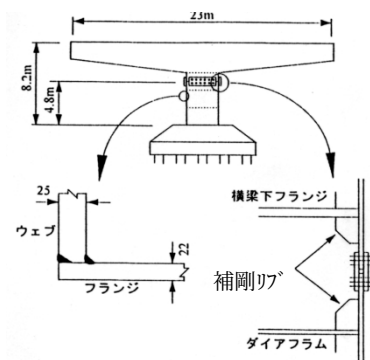
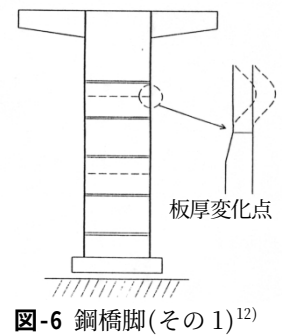
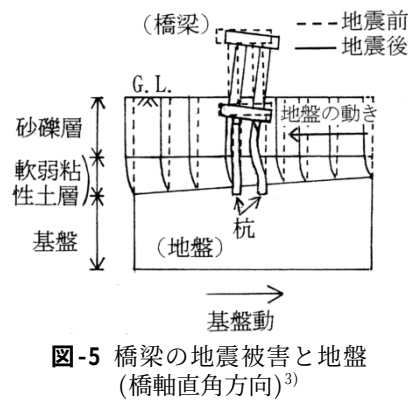
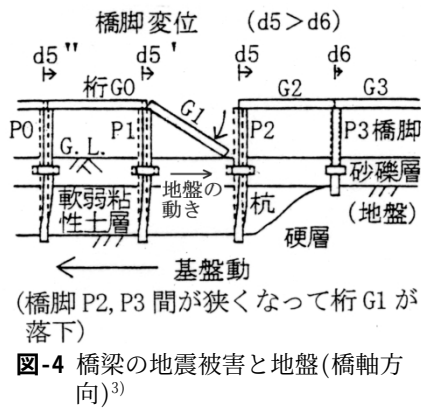
路盤変状は腐植土地盤と粘性土地盤の境界部,軟弱粘性土地盤と砂礫地盤の境界部等で多くみられ,列車走行によって路盤の軟弱化が発生している。また,トンネル内の地層境界部(岩盤と軟弱粘性土層等),洪積台地内の切取部で洪積地盤と腐植土地盤の境界部,あるいはローム層厚さの急変部等で路盤に変状(軟化,噴泥等)が発生している⁹⁾。

図-20は列車走行によって路盤変状が生じた盛土の位置平面図を示す。それは沼田と果樹園(前者は耕作土下の地盤が極軟弱腐植土・粘土,後者は砂礫等からなる)の境界部の沼田側で生じている。なお,ここではレールの損傷も発生している⁹⁾。

(6)路盤や地盤の陥没

路盤や地盤の陥没は,濠跡埋立地と地山の境界部,硬軟地盤境界部(砂礫地盤と粘性土地盤の境界部)の盛土や,地下鉄トンネルと埋め戻し地盤の境界部),橋台裏盛土では橋台の耳部付近でフーチング端部の直上で(図-21),ボックスカルバートが横断する盛土ではカルバート側壁の直上,ボックス式トンネル上部の地表等で多くみられる⁹⁾。図-22⁹⁾²²⁾はボックス式トンネル上部の地表の陥没発生箇所の横断面図である。この陥没はトンネル側壁の直上部付近に生じている。他にも類似の陥没発生例²³⁾がある。

以上の陥没箇所は硬軟地盤境界部とすることができるところであり,地盤の不同変位(沈下差)が原因で発生したことが推定される。即ち,トンネル等の構造物直上の地盤と背面地盤の間に,あるいは硬軟地盤上の盛土間に沈下差が生じて亀裂が発生しやすいからである。また,元々あった地盤のキツや穴から



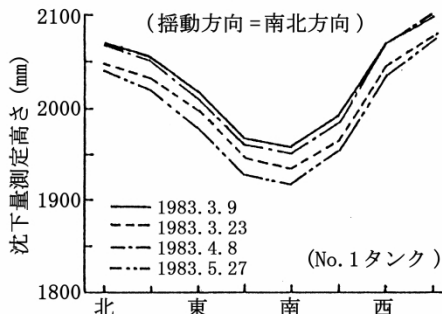


図-16 新潟地区の石油タンクの不同沈下と液面揺動方向¹⁷⁾

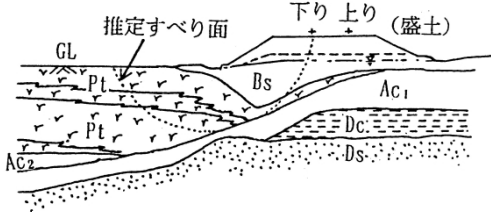


図-18 盛土の変形と地盤¹⁹⁾

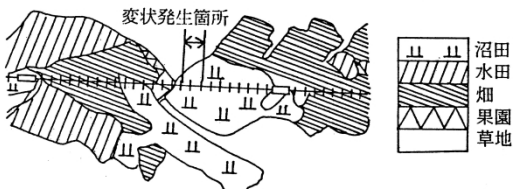


図 20 路盤変状と地盤⁹⁾

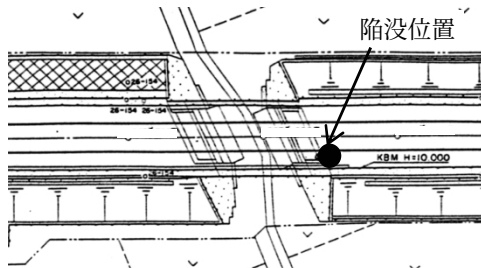


図-21 路盤陥没と地盤

上部の盛土や路盤の材料が浸透水とともに流出すること考えられる。

(7) 橋脚等基礎の洗掘と水害

(a) 橋脚基礎の洗掘は基礎の難透水層(岩盤等)と易透水層(砂礫層等)の境界部や硬軟地盤境界部や、基礎底面の岩着が一部分である橋脚で多くみられる。ここは透水性の不連続点であり、流水や地層中の浸透水の流速が不連続になり、浸透水が乱流状態になってあるいは流速が速くなって橋脚の洗掘が生じたこと等が推察される⁹⁾。

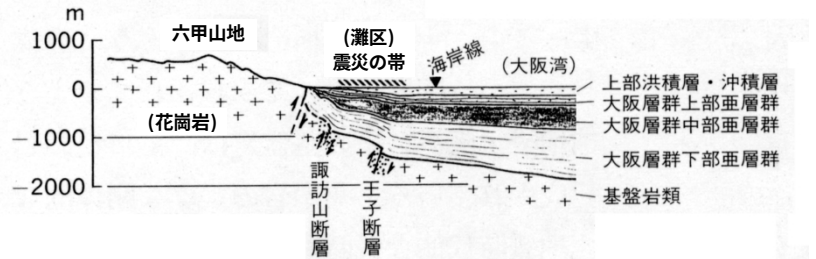


図-17 震度VIIの領域(灘区)の地質図横断面図¹⁸⁾

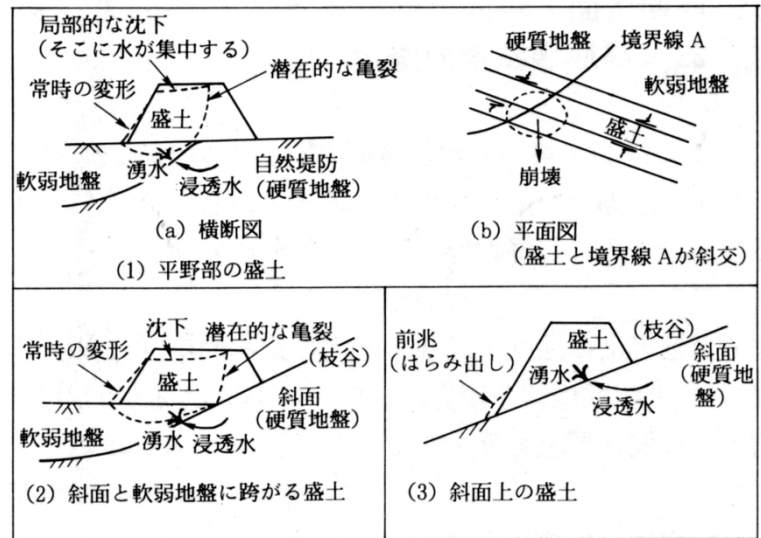


図-19 降雨時の盛土の変形と地盤⁷⁾

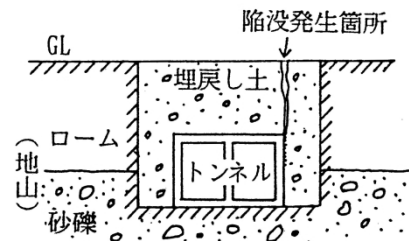


図 22 トンネル上地盤の陥没²²⁾

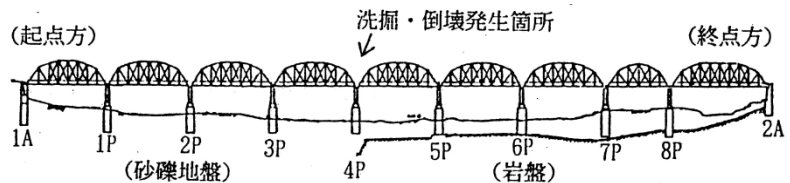


図-23 橋梁の洗掘と地盤(文献 23)を修正⁹⁾²⁷⁾

図-23(文献 24)を修正)の橋梁は洗掘で倒壊した橋脚 4P を境にして、起点方(砂礫層)と終点方(凝灰角礫岩層)で地盤状態が異なる異種支持地盤状態となっている²⁷⁾。また、両地盤の境界線と橋軸は斜めに交わっている。倒壊橋脚 4P は砂礫層上にあり、その井筒基礎は橋軸方向の終点方に転倒した²⁵⁾²⁶⁾。そ

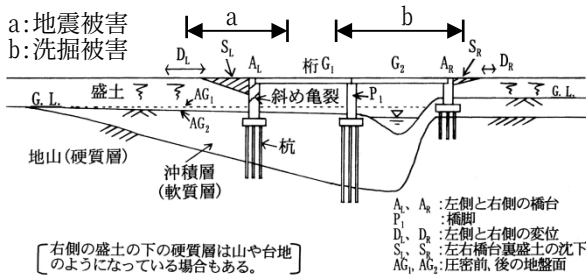


図-24 河川の一般的な地盤構造²⁸⁾

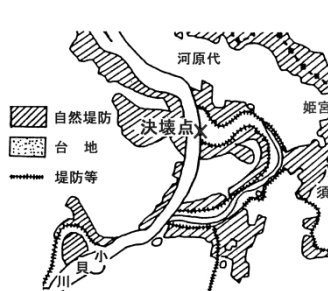


図-25 破堤箇所の地盤²⁹⁾

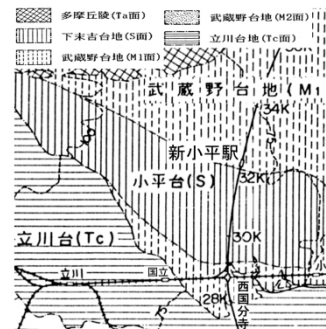


図-26 駅浮上箇所の地盤²¹⁾

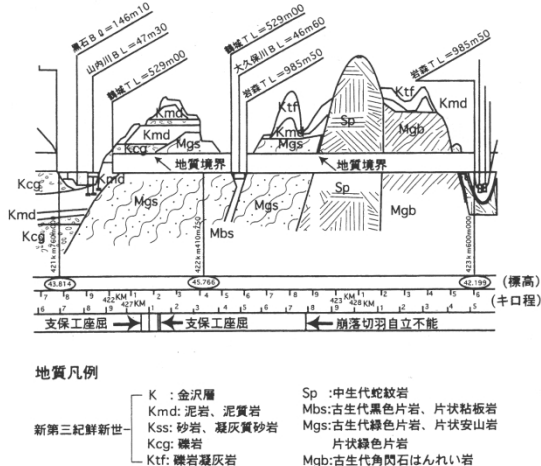


図-27 トシ周辺地質図の1部³²⁾

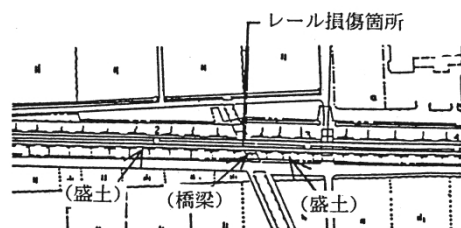


図-30 レール損傷と路盤⁹⁾

の井筒はあたかも下端が起点方に回転したかのよう倒壊した。その他の洗掘被害を受けた橋梁には1本の橋脚の基礎地盤が異種支持地盤状態になっている例も多くみられる²⁷⁾。

(b) 図-24 は河川の一般的な地盤構造を示すが、河川はこうに埋没谷にできていて、その谷斜面形状は左右非対称であり、川筋は勾配の急な方の谷斜面に寄って流れることが多い²⁸⁾。また、この河川を横断する橋梁の地震被害は緩い勾配を持つ埋没谷斜面の方で発生し、洗掘被害は急な勾配を持つ埋没谷斜面の方で発生することが多い。即ち、河川そのものやそこでの橋梁の地震被害や洗掘被害なども一様地盤でなく地盤条件の不連続点で発生していることが分かる。なお、大河津分水の自在堰の崩壊もこの橋脚の洗掘箇所と同様の地盤で発生した²⁹⁾。(c) 河川堤防の破壊(破堤)は図-25²⁹⁾³⁰⁾示すように、



図-28 兵庫県南部地震による地下鉄構造物被害箇所の地盤³³⁾

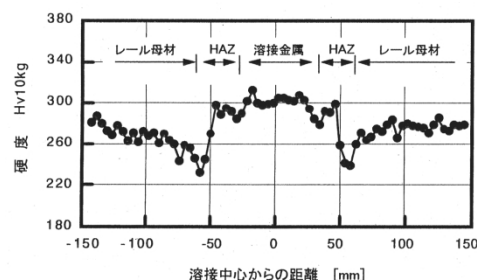


図-29 レール溶接部の硬度分布の例(頭頂面下2.5mm, 長手方向)³⁵⁾

旧河道締切り部の端部(地盤条件の不連続点)で発生しやすい。

(d) 新小平駅構造物の浮上は西側から東側に続く地層境界線(この方向に地下水の流れがある)の端部で、さらに東側に土層が変化するところであり(図-26), 豪雨の影響で発生しているが、この位置は西側から東側へ流れる地下水流の透水性変化点と考えられる²¹⁾。

(8) トシ変状

トシ変状は図-27 に示すように地層境界部で多くみられ、地表面が沢状になっていることが多い³¹⁾³²⁾。地層境界部は元々地下水が流れやすいし、硬軟地盤境界部であって両地盤間に相対変位が発生して大きい歪が生じやすく、さらに偏土圧が発生して変状が生じやすいことが考えられる。

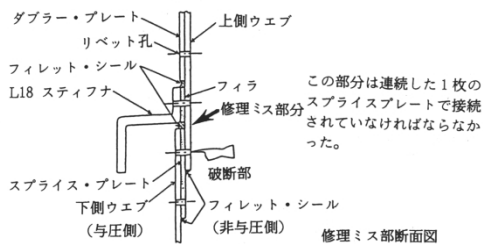


図-31 後部圧力隔壁の修理状況⁴⁵⁾⁴⁶⁾

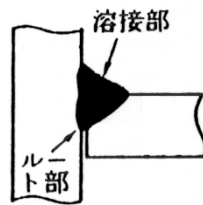


図-32 溶接部⁴⁸⁾

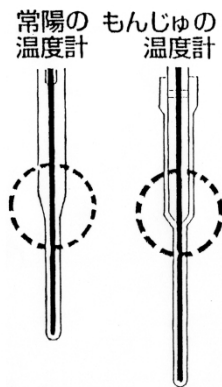


図-33 温度計鞘管⁴⁹⁾

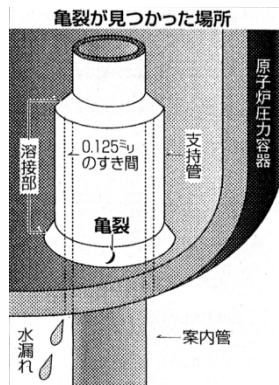


図-34 原子炉容器亀裂⁵⁰⁾

また、兵庫県南部地震による地下鉄トンネル被害の多くは地盤条件点で偏土圧を受けて発生している³³⁾。特に上沢駅や西代駅構造物は図-28³³⁾のような溜池跡埋立地と地山の境界部で被害を受けている。

(9) トンネル微気圧波

列車が高速でトンネルに突入したときにトンネル内に発生する圧縮波が、音速で伝播してトンネル出口に到達したときにトンネル外に放射されるパルス状の波を微気圧波という³⁴⁾。この大きさはトンネル内圧縮波の圧力の時間微分量(圧力勾配)に比例する³⁴⁾。この圧縮波は明かり区間(相対的に空気密度や体積弾性率が小)とトンネル区間(相対的に空気密度や体積弾性率が小)の境界部で発生する。この微気圧波低減のためには、車両先端部形状は断面積変化が大ききときは圧縮波も急激に変化し圧力勾配が大きくなって効果がないが、断面積変化が小さく一定であるときは圧力勾配が小さくなって効果があることが明らかにされている³⁴⁾。

このことは後述する高速増殖炉の温度計鞘管の太さの変化の仕方の違いと損傷の発生の有無との関係に似ている。即ち、断面変化(剛性変化)の急な方が緩い方よりも問題や損傷が出やすいことを示すとともに、対策に対しても断面変化の小さ方が効果的であることを示している。さらに、このことは橋梁や建物等の各種構造物の地震被害が地盤強度

の水平、鉛直方向の変化が小さく一定である方が少ないこと²⁾とも類似である。

(10) レール変状や脱線、著大輪重

(a) レールの損傷は地盤や路盤の不連続点で、即ち軟弱地盤(沼田等)と比較的硬い地盤(水田で耕作土の下の地盤が比較的硬い粘土あるいは砂礫等からなる)の境界部、沼田と果樹園の地盤の境界部(図-20⁹⁾)、切り取りと盛土の境界部、トンネル内の地層境界部、各種橋梁と盛土の境界部、ラーメン高架橋のブロック境界部等で特に溶接部で多くみられる⁹⁾。図-29³⁵⁾はレール溶接部の硬度分布の1例であるが、硬度分布が一定になっていない。図-30は盛土と橋梁の境界部でレールに損傷が発生したところの位置平面図⁹⁾の1例を示す。

(b) 以前にレールの破断が水素の存在箇所所で生じたことがある³⁶⁾³⁷⁾。最近も自動車のトヨタ CVT(Continuous

variable transmission)の入出力ディスクとパワーローラーの破損も水素の存在箇所から破断が起きている³⁸⁾³⁹⁾。ともに水素が部分的に不純物として存在しており不連続点になって発生したことが考えられる。(c) 地震時等のレールの屈曲は、橋台裏盛土、切取と盛土の境界部、硬軟地盤境界部等の路盤や地盤の硬さの変化点で多くみられる。例えば、岩盤の切り取りと盛土の境界線部でこの境界線とレールが斜交した位置で、レールの屈曲が発生している⁴⁰⁾。

(d) 兵庫県南部地震における列車の脱線は硬軟地盤境界部や硬軟路盤境界部等で総てが発生しており、脱線はレールの水平折れ角方向と反対方向に発生している⁴¹⁾。また、常時の貨物列車等の競合脱線発生も自然堤防の縁の田圃等のような硬軟地盤境界部の軟地盤側で多く見られる⁴²⁾。硬軟地盤境界部は構造物の地震被害やレール折損等が発生しやすいところであり、各種部材に問題が発生しやすい剛性変化点と類似である。

(e) 地盤や路盤(橋梁も含む)の硬さの変化点では、輪重(車輪からレール面に垂直に働く力)の大きい変動が発生しやすい⁹⁾。高架橋と盛土の接続部で盛土から高架橋に向かう列車によって、盛土から乗り移った高架橋上で著大輪重が発生した例がある⁴³⁾。

(11) その他の各種構造物で損傷や問題が発生しや

すい部位

上記以外の損傷例として、ジャンボ航空機の圧力隔壁や高速増殖炉もんじゅの温度計鞘管、原子炉压力容器、車両台車の損傷等がある。

a) ジャンボ航空機の圧力隔壁

ここで述べるジャンボジェット航空機の圧力隔壁の損傷は修理ミスが引き金になって生じたものであるが、**図-31**に示すようにスパイスプレート(継ぎ板)が2枚に分割されて取り付けられたため、2列バット結合であるべきところが1列バット結合になり破壊したものであり^{44)~46)}、ここは剛性変化度が所定より大きくなった継ぎ手部である。

なお、航空機も含めて物の破壊の8~9割は継ぎ目で発生していることが明らかにされている⁴⁷⁾。この継ぎ目には接着や溶接やボルト、バット等がある。溶接部は熱による材料の変質、施工不良(**図-32**)⁴⁸⁾、過熱や収縮に伴う残留応力等が発生しやすいところである⁴⁷⁾。これらの継ぎ目は剛性変化点である。

b) 高速増殖炉の温度計鞘管

同じ高速増殖炉の温度計鞘管でも常陽の方はこれまでに異常が無く、「もんじゅ」の方が損傷を受けている。しかし、**図-33**⁴⁹⁾をみると分かるように、鞘管の太さが変化する部分が前者では緩やかに一様に傾斜し、後者では急激に太さが変化しており、剛性の急変している方(剛性変化度の大きい方)が損傷を受けたことが分かる。なお、**図-33**は対策法も示唆しており、剛性変化点で損傷が起きないようにするためには、その剛性変化度を小さくする必要があることを示唆している。

c) 原子力発電施設

原子力発電施設での原子炉压力容器や配管の亀裂や破断は溶接部で極めて多く発生している(例えば、**図-34**)⁵⁰⁾。

d) 車両台車

貨車の台車の溶接部付近⁵¹⁾、地下鉄車両の台車⁵²⁾や車体の継ぎ手部⁵³⁾の溶接部付近で亀裂が発生したことがある。

e) き電線の圧縮スリブと回転装置

硬アルミより線からなるき電線の圧縮スリブ個所の破断点⁵⁴⁾は剛性変化点に属する。その他にもこのような剛性変化点での損傷等の問題発生が多くみられる。なお、回転装置のアンバランス(不釣り合い)の存在個所は不連続点と考えられるところであるが、ここは剛性変化点と類似のところである。

f) 電気抵抗

電気抵抗の大きさが急変するところでは発熱等が生じやすい。

g) ビル風

建物の脇を風が強く吹くことがある。これは建物が不連続点となって風の通り道の断面積が急減するため、風が建物の脇を回り込んで、流線が集中して吹いて生じるものである。

3. 構造物に問題が発生しやすい主な不連続点のまとめ

以上に述べた損傷や問題等が発生しやすい地盤や構造物部材の位置はすべて不連続点であり、そのうち主なものを**図-35**¹⁰⁾にまとめる。この図に示す地盤条件の不連続点(硬軟地盤境界部)や水理学的な不連続点(透水性、透水断面積)、固体剛性変化点(剛性、断面積、隅角部)、気体剛性変化点(体積弾性率、密度、断面積等)の他に、電気的性質不連続点(抵抗、断面積)等もあげられる。

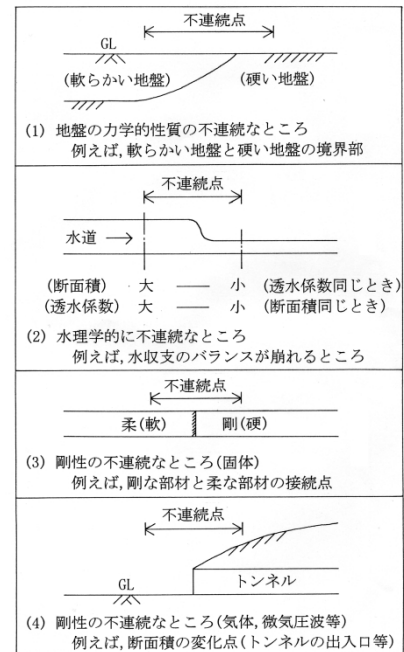


図-35 問題が起きやすい主な不連続点¹⁰⁾

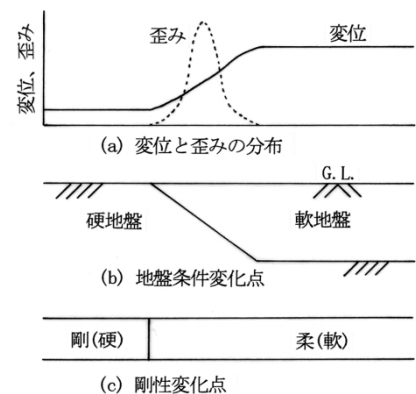


図-36 不連続点の変位と歪²⁾

そのうち、地盤条件の不連続点や剛性変化点では**図-36**²⁾に示すように変位の変化量(不同変位)が大きく発生して、変位勾配(微分値)即ち歪も大きく発生する(歪が集中する)ところである。これによって、例えば地震時には地盤の水平方向あるいは鉛直方向の不同変位(沈下、隆起、圧縮、引張)によって強制的に構造物を变形させることや、地盤の不同変位に伴っ

て発生する、大きく急激な偏土圧が構造物の基礎に作用するとともに、反作用として上部工等の剛性変化点に大きい歪や応力が発生して被害が生じること等が考えられる。



図-37 プラグとコードの接続部

4. おわりに

以上に述べたように、各種構造物の損傷や問題は、地震時と常時に関係なく地盤条件の変化点や部材剛性変化点、透水性変化点、気体剛性変化点等で多く発生している。即ち、広義には各種構造物の損傷や問題の殆どが不連続点で発生するということができ、今後はとくにこの点に注意を払う必要があると考えられる。この剛性変化点での損傷や問題等を発生させないようにするためには、地盤は一様に改良し、構造部材には剛性変化点を初めから作らないようにするかあるいは除去すること、あるいは剛性変化度を低下させることが必要であると考えられる。これには、図-33の常陽の温度計鞘管の構造も参考になるが、電気コードとプラグの接続部が図-37の(a)から(b)のように改良されてからコード損傷が少なくなったこと等も参考になる。

なお、以上に損傷や問題発生点としてあげた箇所は既に対策が施工されているので、今後同様の問題は生じないものと考えている。

最後に、以上の調査に当たってお世話になったJR各社の関係者と寺田博之航空宇宙技術研究所業務部長、今野治夫(株)グリーンソール代表取締役他の方々に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 那須誠, 羽矢洋, 上沢弘: 第8回日本地震工学シンポジウム(1990)論文集, pp.43-48, 1990.12.
- 2) 那須誠: 前橋工科大学研究紀要, 1, pp.1-8, 1998.3.
- 3) 那須誠: 第4回耐震補強・補修, 耐震診断に関するシンポジウム講演論文集, pp.123-130, 2000.7.
- 4) 那須誠: 土木学会第50回年次学術講演会講演概要, I-472, pp.944-945, 1995.9.
- 5) 那須誠: 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, C-8, pp.271-278, 1996.1.
- 6) 那須誠: 第36回土質工学シンポジウム発表論文集, VI-1, pp.1271-134, 1991.11.
- 7) 那須誠: 鉄道総研報告, 9-3, pp.19-24, 1995.3.
- 8) 那須誠: 平成14年第9回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2002)講演論文集, S7-1-1, pp.71-74, 2002.11.
- 9) 那須誠, 大南正克, 狭田彰二: 土木学会第22回関東支部技術研究発表会講演概要集, III-71, pp.352-353, 1995.3.
- 10) 那須誠: 土木学会第27回関東支部技術研究発表会講演概要集, I-1, pp.1-2, 2000.3.
- 11) 那須誠: 第17回日本自然災害学会学術講演会要旨集, No.1-32, pp.63-64, 1998.10.

- 12) 土木学会平成7年度全国大会研究討論会資料-鋼構造物の震災被害-, 1995.
- 13) 菊地春海: 橋梁と基礎, 30-8, pp.29-31, 1996.8.
- 14) 宮城県沖地震対策会議報告書, pp.222-223, 国鉄, 1979.
- 15) 那須誠: 第6回耐震補強・補修, 耐震診断に関するシンポジウム講演論文集, pp.73-80, 2002.7.
- 16) 日経7-キクフ7編: 阪神大震災の教訓, 日経BP社, 1995.3.
- 17) 那須誠, 羽矢洋, 上沢弘: 土木学会第17回関東支部技術研究発表会講演概要集, III-28, pp.226-227, 1990.3.
- 18) 藤田和夫, 佐野正人: 科学, 66-11, pp.793-805, 1996.11.
- 19) 和田茂秋: 第9回建不連続点になって造物検査技術講演会記録, 国鉄, pp.105-119, 1978.10.
- 20) 齊藤迪孝, 都淳一, 室町忠彦, 上沢弘, 渡辺進, 岩崎高明他: 鉄道技術研究報告, No.595, 1967.6.
- 21) 那須誠, 上沢弘: 平成6年度応用地質学会研究発表会講演論文集, No.21, pp.85-88, 1994.10.
- 22) 矢嶋敬: 鉄道土木, 26-7, pp.37-46, 1984.7.
- 23) 都大路SOS 京都四条通陥没, 朝日新聞, 1994.8.22.
- 24) 筑摩栄, 坂上晃, 大倉一朗: 日本鉄道施設協会誌, 29-6, pp.37-42, 1991.6.
- 25) 村上温: 鉄研報告, No.1307, 1986.3.
- 26) 野沢大三, 森重龍馬: 土木構造物の問題点と対策, pp.257-274, 吉井書店, 1987.2.
- 27) 那須誠, 白井慶治, 菊池保孝, 三上正憲, 平田貢, 日高巖: 鉄道力学論文集, 5, pp.7-12, 2001.6.
- 28) 那須誠, 前橋工科大学研究紀要, 4, pp.9-16, 2001.3.
- 29) 那須誠: 土木学会第20回関東支部技術研究発表会講演概要, III-16, pp.210-211, 1993.3.
- 30) 那須誠: 第21回日本自然災害学会学術講演会要旨集, No.1-6, pp.11-12, 2002.9.
- 31) 白井慶治, 那須誠: 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, VI-4, pp.8-9, 1996.9.
- 32) 那須誠, 白井慶治, 青木照幸: 鉄道力学論文集, 6, pp.31-36, 2002.7.
- 33) 那須誠: 第5回耐震補強・補修, 耐震診断に関するシンポジウム講演論文集, pp.117-124, 2001.7.
- 34) 小沢智: 鉄道総研報告, 4-8, pp.3-9, 1990.8.
- 35) 狩峰健一, 立川博: 日本鉄道施設協会誌, 38-11, pp.26-28, 2000.11.
- 36) 栗原利喜雄: 鉄道技術研究報告, No.1188(施設編第517号), 1981.10.
- 37) 長藤敬晴: 鉄道総研報告, 特別第44号, 2000.12.
- 38) NHK 総合スペシャル, 世紀を越えてテクノロジー-あくなき挑戦, 第1集 摩擦の壁を打ち破れ, 2000.8.20.
- 39) NISSAN tech catalog, <http://www.nissan.co.jp/COMPASS/TECH/EXTROIDCVT/frame11.html>, 2001.1.11.
- 40) 有珠山噴火で室蘭線レールぐにゃり曲がる, 朝日コム <http://www.asahi.com>, 2000.4.3.
- 41) 那須誠, 菊池保孝: 鉄道力学論文集, 3, pp.71-76, 1999.6.
- 42) 那須誠: 平成11年第6回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL'99)講演論文集, S6c-5, pp.357-358, 1999.12.
- 43) 佐藤吉彦: 鉄研報告, No.824(施設編第374号), 1972.9.
- 44) 寺田博之: 航空機構造と破壊力学, 第3回NISAユザ会議資料, 1993.
- 45) 寺田博之, 大町茂, 大雲佳代, 新井修, 中尾浩: 航空宇宙技術研究所報告, TR-1279, 1995.11.
- 46) 岡野正治編: 事故のモタージュ(III), pp.111-173, 全日本空輸株式会社, 1991.3.
- 47) 寺田博之: 犬と飛行機-折々の随想-, (株)インク出版局, 2002.2.
- 48) 長瀬隆夫, 工藤松一, 坂下積: 鉄道総研報告, 5-2, pp.47-53, 1991.2.
- 49) 「もんじゅ」温度計さや管, 無事故「常陽」と違う形, 朝日新聞, 1996.1.9.
- 50) 浜岡原発事故, 炉内溶接部に亀裂, 朝日新聞, 2001.11.27.
- 51) いずれも台車に亀裂, 毎日新聞, 1992.3.25.
- 52) 都営地下鉄大江戸線, 台車に亀裂77カ所, 朝日新聞, 2000.3.15.
- 53) 二階建て新幹線に亀裂, 東北 計10両, 構造上の欠陥, 朝日新聞, 1993.9.28.
- 54) 鈴木頼博, 佐藤勇輔, 島田健夫三: 平成11年第6回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL'99)講演論文集, S1c-3, pp.49-52, 1999.12.