

総論

推進工法の特性に見る 下水道管渠施設の地震対策

石川 和秀

(社)日本下水道管渠推進技術協会
専務理事（技術委員長）



1. 我が国は有数な地震国

昨年（2004年）10月23日の夕刻、新潟県中越地方をM6.8の地震が突如襲った。この「新潟県中越地震」による被災光景は、私たちの脳裏に未だ鮮明に残っている。長岡市に隣接した旧山古志村（今年4月1日に長岡市と合併）では、地震による山地崩壊で道路が寸断され、河川がせき止められたことなどで、全住民が退避する事態までに至った。川口町では、10年前の阪神・淡路大震災以来となる震度7を記録した。震央から7km離れた国土交通省の妙見堰管理支所では、阪神・淡路で記録された最大加速度818galの倍以上となる1,715galが記録された。この激しい揺れが、運転開始以来初めてとなる新幹線の脱線事故まで引き起こした。

我が国は、ユーラシアプレートと太平洋プレートの縁にあり、これが太平洋プレートとせめぎ合うことで頻繁な地殻変動が生じ、それがそのまま地震となって現れる。両プレートの摩擦に由来する「プレート型地震」以外にも、我が国の国土には、至る所に活発な活断層が走っている。今年3月20日に発生し

た九州北部西方沖地震などを見れば、我が国のどの地方をとっても、地震に縁遠い地域はないと断言できよう。正に、我が国は、甚大な被害をもたらす地震が多発する地震大国である。昨年だけでも、「新潟県中越地震」をはじめ11月「釧路沖地震」、9月「紀伊半島沖地震」など、震度5弱相当以上が観測された地震は年間26回に上った。近い将来、関東大震災の再来、東海沖、南海沖大地震の発生が想定されるなど、一時たりとも地震対策に手を抜けない、そんな国土に私たちは生活基盤を置いている。

2. 大地震に対する万全な備えとは

将来、确实視される大地震に対し、個人、企業、行政は、それぞれ立場で万全な対応策を講じなければならない。これに異を唱える者はいない。だが、ことはそんなに単純ではない。世に「万全」という言葉はあるが、想定される未知の現象に対し、「万全な対応・対策」は実態上有り得ない。

現に、構造物に係る耐震設計基準にしても、戦

後永く、1923年（大正12年）の「関東大震災」を基準としていたが、1995年（平成7年）の「阪神・淡路大震災」が発生した後、対象を変えて基準の見直しが広く行われた。1997年に改訂された現行の下水道施設の耐震対策指針も同様である。この指針では、対象とする地震動のレベルを2段階、すなわち、

レベル1：施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地振動

レベル2：陸地近辺に発生する大規模なプレート境界地震や、直下型地震による地振動のように、施設の供用期間内に発生する確率は低いが大きな（M7～8）強度をもつ地震動

に区分し、それぞれの地震動に対し、下水道施設の保持すべき耐震性能として、

レベル1：重要な幹線管路等は既存施設、新設とも設計流下能力を維持する。
その他の管路は、新設を対象に設計流下能力を維持する。

レベル2：重要な幹線管路等について、既存施設、新設とも流下能力を確保し、震災時においても処理場、ポンプ場への下水の収集を可能とする。
処理場、ポンプ場施設は、構造物が破損したり、塑性変形が残留しても比較的早期に復旧可能であることを原則とする。

とされた。

この現行耐震対策指針についても、今回の中越地震で生じた下水道施設、特に、管路施設の被災状況に鑑み、今後の適切な対応を図るうえから現行基準に加味すべき事項等があるか、現に、国を中心に検証、検討が進められている。

このように、新たな下水道施設の地震被災に遭遇するたび、下水道施設が具備すべき耐震機能のハードルを次々に高めていく、これが現実的な対処と言える。逆に言うならば、現行の耐震機能で幸いにも地震被災を免れた場合には、被害が生じていないのだから厳密な現場検証もしようも無

く、どのようなプロセスで、どの程度の安全率をもって被害を回避できたかは、検証も検討もしようも無いことである。結果として、現行基準の見直しすら話題とされない。被害が生じて、始めて基準が見直される。基準が絶えず実被害の後追いつとの印象を免れない、これが現実である。

このような状況で、将来、我が国のどこで、どの程度の規模で発生するかわからない大地震に対し、国民の生命、財産、安全、生活基盤を適正に保全するための万全な対応、対策など実質不可能と言わざるを得ない。

とは言え、無為無策で手を拱いていて良い訳はない。下水道施設についてもその対応は同様である。大地震がもたらす猛威に、どんな状況でも確実に勝てる手段を講じることは不可能としても、負けない程度の手を打つことは現状でも可能である。当面、下水道での負けない手とは、管路では破断せず下水が通ること、処理場では衛生面での危険を回避する最低限の処理機能を保持することである。そこで、被災の危険性を最小限に止めるには、何を講ずるか、あるいは、何をすべきではないか、何を避けるか、が要となる。

3. 地震による液状化現象に注視

1995年に発生した阪神・淡路大震災では、神戸市東灘下水処理場が埋立て地盤の側方流動現象等により大被害を受け、一時、処理機能を全く失うという衝撃的な事象から、処理施設での被災が印象付けられた。昨年の中越地震では、地震動による地盤の液状化現象により、管路の埋戻し部の路面沈下、管路とマンホールの浮上被災が目立った。今後の下水道管渠の地震対策を検討する際、地盤の液状化現象への対応を十分考慮しなければならないことが印象付けられた。

液状化現象とは如何なるものか。それを防止、回避、軽減する手段はあるのか。

地盤の液状化現象とは、土の土粒子間に拘束されている水（間隙水）が、地震により激しい振動を受けた時、（間隙）水圧が高くなり、土粒子間



写真一 管渠埋設部の道路陥没状況 ※1



写真二 マンホール浮上被害状況（その1） ※2



写真三 マンホール浮上被害状況（その2） ※3



写真四 マンホール浮上被害状況（その3） ※4

との結合が解かれ、土粒子と水が一体の混合体となって流動する現象である。粘性土の場合、土粒子間の結合力が比較的強いことから、間隙水圧が多少上昇したとしても結合力に打ち勝つまでにはなりにくく、地盤の流動化現象は起こりづらいとされている。一方、砂質土で地下水位以下の滞水地盤では、土粒子間の結合力が弱いことから、液状化現象が顕著となりやすい。地盤が一度流動化すると、土粒子と水の完全混合体の比重は水の1.5倍以上となり、地中構造物がその際に受ける浮力は、従前、地下水のみから受けていたものより格段と大きくなる。構造物に作用する浮力がその自重に勝った時、構造物は浮き上がる。振動が収まった段階では、混合体中の水と土粒子は重力により分離し、水分が上方に逃げ、土粒子は密な

状態で下方に沈降する。さらに、上方の水が周囲に逸散すれば、その分、地表面は沈下する。

中越地震の被災地では、下水道管渠の埋設箇所が帯状に陥没した道路（写真一）、地表上に隆起、浮上したマンホール（写真二～四）が多く見られた。これらは、管渠の埋設位置付近で地盤が激しく液状化現象を引き起こしたことを如実に示している。

地震時の液状化現象に対し、下水道管渠施設の損傷を防止、回避または軽減するにはどうしたらよいか。液状化現象は、滞水した砂層があり、砂粒子と水が激しく振動することで発生する。それを回避するには、その要素を消すか、軽減することが有効となる。端的に言えば、埋設位置付近の砂層を無くすことか、砂粒子と水を分離させない



写真一5 推進区間から開削区間を見る ※5



写真一6 開削区間から推進区間を見る ※6

ことと言える。

中越地震による下水道施設の本復旧と今後の地震対策の検討に設けられた「下水道地震対策技術検討委員会」は、地震発生からほぼ1ヵ月後、管路施設の本復旧に向けた緊急提言を示した。この提言では、①埋戻し部の締固めを徹底すること、②埋め戻しに砕石を使用すること、③埋戻し部全体を土セメントなどで固化すること、の3手法を推奨している。しかし、どの手法を採用としても、課題は残される。

まず、埋戻し部の締固めの徹底化に関しては、埋戻しに良質な砂を使用することとし、埋戻し土を最適含水比に近い状態にしたうえで、タンパ等による入念な転圧を行い、現場測定での締固め度が90%程度以上に保たれるよう施工管理することを求めている。これは、現場での現実的な施工状況下ではかなり高いハードルを課したことになるものの、そうした条件を満たした場合でも液状化した事例もあり、現地での地盤特性や施工条件などに留意することを重ねて求めている。次の砕石での埋戻しに関しては、平均粒径（D50）が10mm以上、10%粒径が1mm以上の砕石の使用が推奨され、砕石を使用した場合でも締固め度90%程度以上を確保することを求めている。この砕石による埋戻しは、通常、塩化ビニル管の埋設には適用されない。さらに、埋戻し部の固化に関しては、埋戻し土にセメント等の固化剤を添加し、一軸圧縮強度（28日強度）を100～200kPa

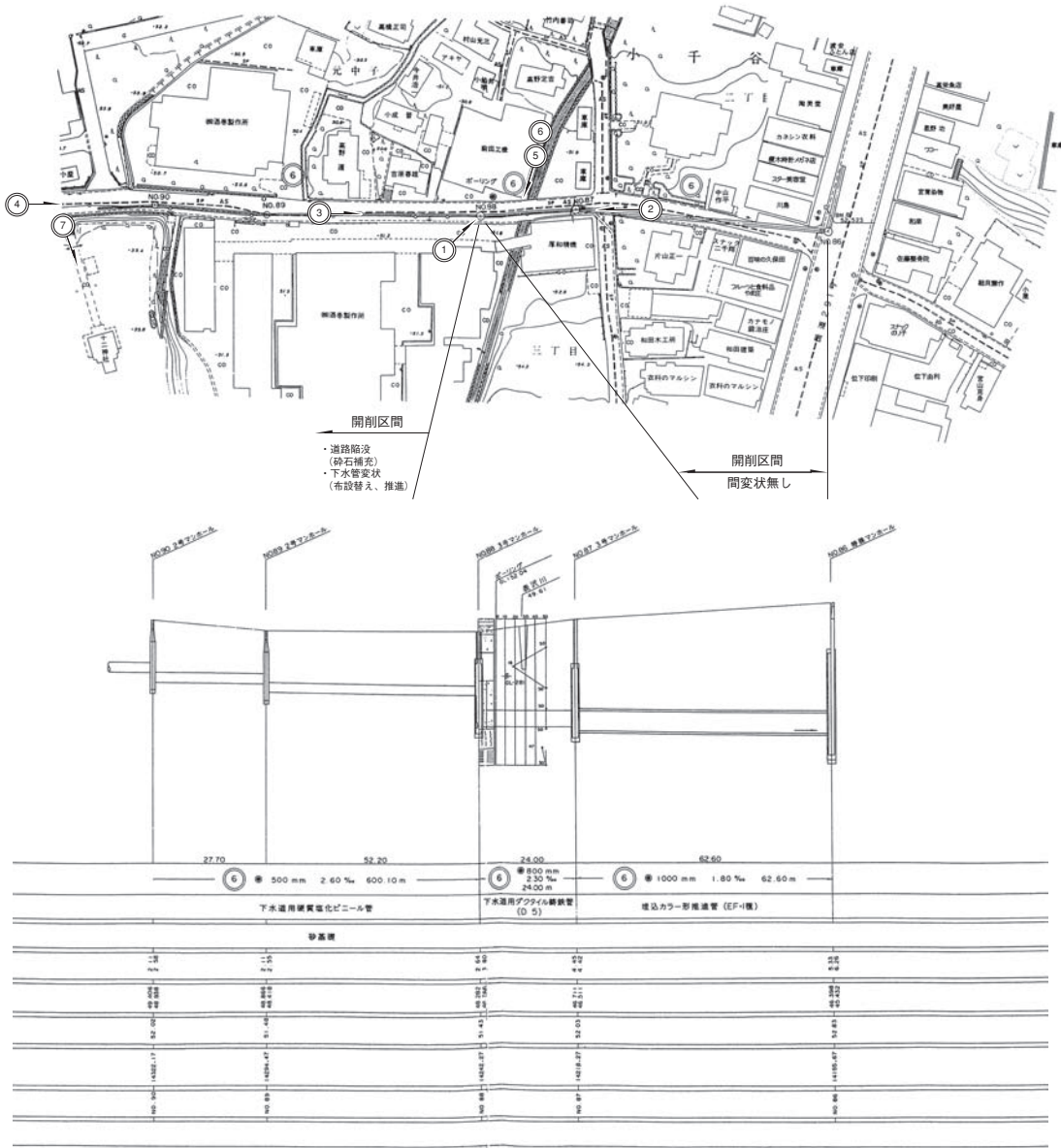
程度とすることを求めている。これには、固化の範囲と施工コストの問題、さらには、将来時、再掘削の必要性を想定した場合の対応も考慮しなければならない。

4. 埋戻し不要な工法がある

大地震時、埋戻し部での液状化現象から、管渠被災を極力回避するための第一策は、まずは埋戻し部を造らない、残さないことである。管渠敷設工事に通常の開削手法を採れば、管渠の埋設位置まで道路上から帯状に掘削する必要があり、管渠を敷設した後、管渠の周辺、上部を山砂等良質土で埋戻さなければならない。これに対し、推進工法など非開削手法を採れば、路上からの掘削は必要なく、埋戻し部を造らないで済む。

今回の中越地震による下水道施設の被災状況、災害復旧調査では、管渠施設について、総延長約2,700kmを対象に目視による一次調査が行われ、その結果、管路損傷の可能性が認められる約1割の管渠について、管内TVカメラを投入した詳細な二次調査が実施された。未だこれらに基づく厳密な解析結果は公表されていないが、定性論として、開削工事区間に比べ、推進工法等で施工された非開削工事区間の管渠被災は、ほとんど認められないか相当程度軽減されたことが明らかとなっている。

ここに、その実際を示す一例として、小千谷市



図一 開削区間と推進区間が隣接した工事区間の縦断面

内の現場写真がある。路面の応急処置後のものだが、開削工事と推進工事が隣り合った現場で、地震による道路陥没被害に顕著な差が見られる貴重な写真である。写真－5は推進区間から開削区間を見たもの。工法の変更地点は写真中央奥の自転車付近のマンホール位置である。写真－6は開削区間から推進区間へと逆方向に見たもの。明らかに、開削区間で管渠埋設上部の道路が相当程度陥

没し、応急的に碎石を投入して復旧した形跡が識別できる。また、図－1は、この区間の管路縦断面図である。開削工事と推進工事の境となった人孔の下流側で小さな河川横断があり、土盛りも4mを超えたことから、当該区間に推進工法を採用したことが窺えるが、結果として、地震災害時での管路自体の損傷、上部道路構造の損傷に顕著な差異が現れた。

5. 地震対策から見る推進工法の評価

推進工法では、路上からわずかな範囲で掘削した発進立坑から到達立坑に向け、管渠を敷設する位置の地中部分のみを掘進機で切削排土し、その掘削した空間を後続の推進管で置き換えて行くことが基本である。したがって、推進工法は、管渠を埋設する地下空間以外の地山を極力乱さない特性を有している。また、推進時に、推進管の外周面と地山とのわずかな隙間（「テールボイド」と言い、推進管外周面と地山との摩擦抵抗力を軽減するため“滑材”で満たされている）が残されるが、推進完了後直ちに裏込め材が注入され、地山との一体性が確保される。その一体性ゆえ、地震時に地盤が振動した際、埋設された推進管と周辺地山は一体的に挙動することで、推進管には特段の外部応力は作用せず、周辺地盤からの衝撃力など外力により推進管が直接破損する可能性は極めて低いと考えられている。

推進工法による地震時の特性は、上部からの全面掘削が無く、埋戻し部を残さないことから、地盤の液状化による損傷の危険性がないこと、推進管外周部の地山を乱さず一体的に挙動することで、周辺地盤からの外力による破損の危険性が極めて低いこと、大きく二点が挙げられる。推進工法の地震時特性を活かすため、今回の中越地震での管渠復旧手法に推進工法の採用が検討された事例も多い。ただ、この推進工法が有する特性は、あくまで、推進管と周辺地山との一体性が確保されていることが根本であることから、仮に、既設管埋設に開削工事手法が採られ、管渠周辺地山が一旦掘削され人為的に埋戻された地盤では、その後、十分な埋戻し、締固めがなされたとしても、効果的な本来の特性は活かされない懸念がある。

そこで、小千谷地区の幹線管渠の本復旧工事にあたっては、路上交通の確保や周辺施設（小学校）への影響、冬季積雪期での工程確保などの観点から、管渠の埋設位置を道路の逆サイドに振り替え、管渠を新設することとして、改めて推進工法を採用した事例が報告されている。

6. 結びとして

推進工法など非開削手法は、管渠の埋設工事にあたり、工事に伴う騒音、振動が少なく、掘削土量、残土処分量が少ないこと、工事期間が短く、道路交通への障害が少ないこと、商業活動など市民生活への影響が少ないこと等々、開削手法に比べ様々な優位性を有し、正に、周辺環境に優しい工事手法と言える。加えて、地震時における管渠被災が軽減できるとなれば、市民生活を支える下水道を始めとする水道、ガス、電力、通信など地下ライフラインの確保という観点からも、推進工法は優れた工事手法と言える。

下水道管渠の新設はもとより、既設管渠の改築、敷設換えに対し、推進工法など非開削手法を広く活用することで、人と環境に優しい社会が構築できることを願って止まない。そのため、現社会また次の社会が求めるより高次な推進技術を提供できるよう、推進技術協会は会員企業と一丸となり推進工法の技術開発、普及展開に弛まぬ努力を傾注する所存である。

最後に、中越地震により犠牲になられた方々のご冥福と、被災された多くの方々の一日も早い生活再建を心よりお祈りいたします。

○※1～4 写真提供：日本技術開発(株) 田口由明氏

※5～6 ：(株)福田組 石塚千司氏