下水道機構 共同研究 衝撃弾性波法で技術資料発刊

効率的な管路改築が急務

コストに見合う付加価値

池田氏　井藤氏

井藤　共同研究の概要について、まず池田部長からお話いただけますか。

池田　衝撃弾性波検査法は非破壊試験法の一種で、一般的に構造物に軽い衝撃を与え、発生する振動を計測し、そこから得られた波形や周波数特性から対象物の劣化状況を評価するものです。この共同研究は、それを管路劣化診断に応用したものです。

調査診断ロボットは、打撃ユニットと受信ユニットに分かれており、通常、管路内TVカメラ調査ロボットに牽引させます。打撃ユニットのインパルスハンマという器具で管を叩き、受信ユニットでは叩いて生じた弾性波を加速度センサで受信します。その計測データを周波数分布に変換し、高周波成分比を求め管の劣化状況を定量的に評価する仕組みです。厚さが減少したり軸方向クラックが発生するなどの劣化事象が見られる管の周波数特性は、新管と比べて低周波の方向に移動するという特性を利用したものです。高周波成分比とは「高周波成分3・5～7KHz」÷「全周波成分0・5～7KHz」の成分比と定義しています。

下水道管は約43万㌔㍍の達し、しかも老朽化が日々進行している状況です。布設後30年を経過すると老朽化に起因した道路陥没が急増するというデータもあります。実際、道路陥没後に老朽管を改築するという事後対応で処理すると、市民生活に多大な影響を与えるばかりか、コストも嵩み不経済になります。

膨大な管きょストックを、限られた財源で効果的に改築するには、本当に改築が必要なヵ所を見極めていかなければならない時代になり、これまで以上に適切な優先順位付けが必要になってきています。そのためには老朽管路の定量評価が有効なのです。

井藤　自治体の立場から見た管路ストック調査の現状はいかがですか。

桔川　浜松市の管路ストックは約3400㌔㍍ですが、そのうち約336㌔㍍ほどが30年を経過しております。昨年度は幸いにも大きな道路陥没もなく、取付管の破損程度で済んでいます。

管路調査は、下水道協会の指針に基づきながら、限られた予算のなかで行っています。主に30年を経過したヵ所をターゲットにTVカメラや目視をしています。

そうした経験も踏まえ、平成22年度に一番早く整備した処理区（2400㌶）で長寿命化計画策定に入り管路約60㌔㍍を調査し、このほど計画がまとまりました。他の処理区も今すすめているところです。

井藤　陶管のクラック有り無しは衝撃弾性波で測定できます。ただ具体的な強度数値は示せないので、今回の技術資料から外しています。それでは観音寺課長いかがですか。

観音寺　現在、福岡市全域で汚水・合流を含めて約4000㌔㍍（雨水含む全長6900㌔㍍）の管路ストックがございます。そのうちの約9割が800㍉以下の管きょというのが実態です。

管種では、約4割程度をコンクリート系が占めており、今回の技術資料にある適用範囲は800㍉未満ということですので、ニーズに合うと思います。

また30年以上を経過している管きょは約28％程度で、現在、長寿命化計画の策定はすすめていますが、平成17年に福岡県西方沖地震が発生したため、地震対策を先行させ、緊急輸送路直下や処理場間を連絡する重要な管路約850㌔㍍を全体計画としています。

一方、国では長寿命化計画をおおむね5年以内に策定させるという方針を打ち出していますので、これに合わせて策定することにしています。

なお、市内の汚水・合流管約4000㌔㍍のなかで長寿命化計画でやれるのは、補対事業となる320㌔㍍で、処分制限期間20年を経過していないものを除くと約300㌔㍍になります。かつ地震対策の850㌔㍍に長寿命化の補対管が2600㌔㍍ほど含まれますので、最終的に長寿命化計画に該当するものは、約40㌔㍍程度になります。地震対策を先行した結果、長寿命化計画と整合させるよう、市としての考え方を整理し、今年度中に長寿命化計画を策定する予定です。

井藤　次に管路調査診断に対するニーズについて、お願いします。

桔川　私どもはTVカメラ調査による視覚判断で危険度を判定し、修繕あるいは管更生しています。そのような意味で調査が一番大事ですが、できるだけコストは安く抑え、調査時間もできるだけ短縮できる方法が望まれます。また今後、調査診断の需要が増えることが想定されます。一方で調査診断分野も人材難ですので、機械的に判断できるような調査システムが必要になると思います。

さらにストックマネジメント手法が本格化すれば、計画的維持管理が主流となり、修繕・改築ヵ所の優先順位を決める必要が出てきます。従来のTVカメラ調査では、見る人によって評価が偏ったりしますので、客観的な定量評価手法が求められます。今回の衝撃弾性波は正に定量評価が強みですので、今後の進化に期待しているところです。

実は、企業誘致を目的とした大規模開発が行われ、そのときに工場排水を考慮し耐薬品性で優れた陶管が使われました。しかし平成17年に、道路陥没が発生し管内を調査したところ多くの陶管にクラックがありました。しかし陶管は約3万3000㌔㍍も布設されていたため、少しずつ調査していたわけですが、それでも多くのクラックが発見されました。偶然、地元に衝撃弾性波ロボットを保有する調査会社がありましたので定量的な評価を行うと、目視では何ら問題はないのに叩いたらNGだったというヵ所があり、掘り出して調べたら、管外側に中クラックがあったのです。

また、当市は長寿命計画策定の一環で下水道機構との共同研究として、劣化の著しい管きょの衝撃弾性波試験を行いました。中継ポンプ場から3㌔㍍圧送管路があって、その吐出先から下流約1㌔㍍が硫化水素で腐食していましたが、TVカメラ調査では管体強度まで評価できません。耐荷力、管・ヒューム管の300㍉以下は耐用年数が60年。300㍉以上799㍉以下および塩ビ管は70年。800㍉以上のヒューム管は100年など、経済的耐用年数を算出しております。

しかし当市は年間約20億円の改築・更新費を投資していますが、経済的耐用年数で設定すると年間約40億円と試算されました。そうなると、改築・更新の優先順位付けが難しくなります。年ごとに見直す必要があり、いかに予算を抑えるかが重要ですから診断は増加すると思います。また同時に財政収支計画も立てていますので、そのなかで改築・更新などの投資について議論していかざるを得ないのが現状です。

各都市は今後、維持管理計画を策定するなかで、投資効果の精度を高めることが重要になり、衝撃弾性波による定量的な数値解析の必要性が高まると考えています。積水化学では、計画的、持続的な維持管理を実現する方法として、管路管理・改築の包括委託を提案しています。

今までの維持管理はご存じの通り調査、清掃、補修、改築・更新など、それぞれの業務が単発発注され、多少一貫性に欠ける部分が出ている場合もあったかと思います。そうすると作業の重複や抜けが出て、ムダやクラックか減肉か仕分けようと相当努力はしたのですがデータが不足しており、今後の課題としました。

また、衝撃弾性波は一定の誤差を含んいるので、安全側で評価しなくてはいけませんが、あまり安全側で評価するとコスト縮減効果が薄れます。劣化要因の仕分けや実データでの検証結果が増えれば、もう少しギリギリの評価ができると思います。

渡辺　できるだけ既設管を有効利用するような改築ができるといいですよね。

観音寺　技術資料ではヒューム管を対象にしていますが、今後はいろいろな管種への展開が必要になってくると思います。今後、各自治体とも塩ビ系の老朽管が非常に多くなってくるし、コンクリート管だけが定量評価できて他のものが評価できないと市全体としての維持管理計画も偏った判断しかできなくなります。塩ビメーカでの対応を望んでいます。

もう一つは、衝撃弾性波検査の仕方です。現状ではヒューム管1本あたり1ヵ所しか打撃していませんが、打撃部と受信部をもう1セットつければ、劣化診断の精度があがるのではと思うのですが。

渡辺　おもしろいご意見と非常によいですね。

観音寺　自治体が望んでいるのはそこも含めてです。

桔川　下水道機構さんに望んでいるのはそこです。お墨付きとして使えることが非常に大事で、そこへの進化を期待しています。

池田　先ほど言った軸方向クラックと減肉の現象をはっきり区別できれば、期待に添えると思います。

井藤　波形を細かく分析し、高周波成分比の低下で見落としが発生する可能性がありました。そこで地域内の管路網の維持管理を一つの企業ヵ所に集約すると考えています。

衝撃弾性波は10年以上前に、鎌田教授（現、大阪大学）らとともに開発した技術で、すでに多くの実績がありますが、今回、下水道機構さんのご協力を得て、さらに技術的な成熟がすすみました。管路のストックマネジメントや包括委託でも定量的データは非常に有効で、例えば台帳システムなど管理システムに衝撃弾性波の定量的データは入力することができます。そしてデータを一貫して活用できるシステムは、今後、ストックマネジメントをすすめるにあたって、または包括的な管路管理を行うにあたって強く求められる技術だと思っております。

井藤　次に技術資料の中身について触れていきたいと思います。まず池田部長からお願いします。

池田　技術資料は人が入れない700㍉以下の鉄筋コンクリート管が対象です。今までは人が入れず耐荷力等を把握できなかった。そこで目視で管の残存強度などを推定してしまった。他の処理区も今すすめているところです。

井藤　陶管のクラック有り無しは衝撃弾性波で測定できます。ただ具体的な強度数値は示せないので、今回の技術資料から外しています。それでは観音寺課長いかがですか。

観音寺　現在、福岡市全域で汚水・合流を含めて約4000㌔㍍（雨水含む全長6900㌔㍍）の管路ストックがございます。そのうちの約9割が800㍉以下の管きょというのが実態です。

管種では、約4割程度をコンクリート系が占めており、今回の技術資料にある適用範囲は800㍉未満ということですので、ニーズに合うと思います。

また30年以上を経過している管きょは約28％程度で、現在、長寿命化計画の策定はすすめていますが、平成17年に福岡県西方沖地震が発生したため、地震対策を先行させ、緊急輸送路直下や処理場間を連絡する重要な管路約850㌔㍍を全体計画としています。

一方、国では長寿命化計画をおおむね5年以内に策定させるという方針を打ち出していますので、これに合わせて策定することにしています。

なお、市内の汚水・合流管約4000㌔㍍のなかで長寿命化計画でやれるのは、補対事業となる320㌔㍍で、処分制限期間20年を経過していないものを除くと約300㌔㍍になります。かつ地震対策の850㌔㍍に長寿命化の補対管が2600㌔㍍ほど含まれますので、最終的に長寿命化計画に該当するものは、約40㌔㍍程度になります。地震対策を先行した結果、長寿命化計画と整合させるよう、市としての考え方を整理し、今年度中に長寿命化計画を策定する予定です。

井藤　次に管路調査診断に対するニーズについて、お願いします。

桔川　私どもはTVカメラ調査による視覚判断で危険度を判定し、修繕あるいは管更生しています。そのような意味で調査が一番大事ですが、できるだけコストは安く抑え、調査時間もできるだけ短縮できる方法が望まれます。また今後、調査診断の需要が増えることが想定されます。一方で調査診断分野も人材難ですので、機械的に判断できるような調査システムが必要になると思います。

さらにストックマネジメント手法が本格化すれば、計画的維持管理が主流となり、修繕・改築ヵ所の優先順位を決める必要が出てきます。従来のTVカメラ調査では、見る人によって評価が偏ったりしますので、客観的な定量評価手法が求められます。今回の衝撃弾性波は正に定量評価が強みですので、今後の進化に期待しているところです。

実は、企業誘致を目的とした大規模開発が行われ、そのときに工場排水を考慮し耐薬品性で優れた陶管が使われました。しかし平成17年に、道路陥没が発生し管内を調査したところ多くの陶管にクラックがありました。しかし陶管は約3万3000㌔㍍も布設されていたため、少しずつ調査していたわけですが、それでも多くのクラックが発見されました。偶然、地元に衝撃弾性波ロボットを保有する調査会社がありましたので定量的な評価を行うと、目視では何ら問題はないのに叩いたらNGだったというヵ所があり、掘り出して調べたら、管外側に中クラックがあったのです。

また、当市は長寿命計画策定の一環で下水道機構との共同研究として、劣化の著しい管きょの衝撃弾性波試験を行いました。中継ポンプ場から3㌔㍍圧送管路があって、その吐出先から下流約1㌔㍍が硫化水素で腐食していましたが、TVカメラ調査では管体強度まで評価できません。耐荷力、管・ヒューム管の300㍉以下は耐用年数が60年。300㍉以上799㍉以下および塩ビ管は70年。800㍉以上のヒューム管は100年など、経済的耐用年数を算出しております。

しかし当市は年間約20億円の改築・更新費を投資していますが、経済的耐用年数で設定すると年間約40億円と試算されました。そうなると、改築・更新の優先順位付けが難しくなります。年ごとに見直す必要があり、いかに予算を抑えるかが重要ですから診断は増加すると思います。また同時に財政収支計画も立てていますので、そのなかで改築・更新などの投資について議論していかざるを得ないのが現状です。

各都市は今後、維持管理計画を策定するなかで、投資効果の精度を高めることが重要になり、衝撃弾性波による定量的な数値解析の必要性が高まると考えています。積水化学では、計画的、持続的な維持管理を実現する方法として、管路管理・改築の包括委託を提案しています。

今までの維持管理はご存じの通り調査、清掃、補修、改築・更新など、それぞれの業務が単発発注され、多少一貫性に欠ける部分が出ている場合もあったかと思います。そうすると作業の重複や抜けが出て、ムダやクラックか減肉か仕分けようと相当努力はしたのですがデータが不足しており、今後の課題としました。

また、衝撃弾性波は一定の誤差を含んいるので、安全側で評価しなくてはいけませんが、あまり安全側で評価するとコスト縮減効果が薄れます。劣化要因の仕分けや実データでの検証結果が増えれば、もう少しギリギリの評価ができると思います。

渡辺　できるだけ既設管を有効利用するような改築ができるといいですよね。

観音寺　技術資料ではヒューム管を対象にしていますが、今後はいろいろな管種への展開が必要になってくると思います。今後、各自治体とも塩ビ系の老朽管が非常に多くなってくるし、コンクリート管だけが定量評価できて他のものが評価できないと市全体としての維持管理計画も偏った判断しかできなくなります。塩ビメーカでの対応を望んでいます。

もう一つは、衝撃弾性波検査の仕方です。現状ではヒューム管1本あたり1ヵ所しか打撃していませんが、打撃部と受信部をもう1セットつければ、劣化診断の精度があがるのではと思うのですが。

渡辺　おもしろいご意見と非常によいですね。

観音寺　自治体が望んでいるのはそこも含めてです。

桔川　下水道機構さんに望んでいるのはそこです。お墨付きとして使えることが非常に大事で、そこへの進化を期待しています。

池田　先ほど言った軸方向クラックと減肉の現象をはっきり区別できれば、期待に添えると思います。

井藤　波形を細かく分析し、高周波成分比の低下で見落としが発生する可能性があります。そこで地域内の管路網の維持管理を一つの企業ヵ所に集約すると考えています。

衝撃弾性波は10年以上前に、鎌田教授（現、大阪大学）らとともに開発した技術で、すでに多くの実績がありますが、今回、下水道機構さんのご協力を得て、さらに技術的な成熟がすすみました。管路のストックマネジメントや包括委託でも定量的データは非常に有効で、例えば台帳システムなど管理システムに衝撃弾性波の定量的データは入力することができます。そしてデータを一貫して活用できるシステムは、今後、ストックマネジメントをすすめるにあたって、または包括的な管路管理を行うにあたって強く求められる技術だと思っております。

井藤　次に技術資料の中身について触れていきたいと思います。まず池田部長からお願いします。

池田　技術資料は人が入れない700㍉以下の鉄筋コンクリート管が対象です。今までは人が入れず耐荷力等を把握できなかった。そこで目視で管の残存強度などを推定してしまった。今回は、強度も定量的に推計していくということが特徴です。

衝撃弾性波法は、2007年に当機構の審査証明で既設管劣化度の数値化は証明されていました。定量的な劣化診断の基礎は確立されたものの、新管の高周波成分比を100とし、破壊した管の高周波成分比を0として指標化した相対的な定量評価となっていました。これでは、実際に現在の残存強度は分かりませんので、埋設状態での作用荷重に対して安全な状態であるのか評価できません。それを今回は、各種試験を通じて残存強度を基にした絶対値化に近づけました。

試験内容は、200㍉から700㍉までの厚さをかえて減肉現象を再現した新しいコンクリート管や実際に埋設状態の既設管を掘り上げ、それを衝撃弾性波試験と破壊試験を行い、そのデータを基にして、高周波成分比と破壊荷重の関係式をつくりました。それにより既設管の耐荷能力評価、スパン判定基準に展開することができたことが技術資料の一番のポイントです。

もう一つは、TVカメラと衝撃弾性波法による試験結果を基にして二軸評価し、総合判定するという事例を記載し、優先順位付けに明確に応用できるようになりました。複合管は供用管種を拡大する、劣化予測曲線を描ける技術にするなど必ず取り組んでいきたいと思います。コスト面は非常に重要な問題ですので、例えば機材の簡素化など開発をすすめ、操作性も良くしていって日進量を少しずつでもあげられるような改良、改善を日々努力していきます。塩ビ管の劣化診断については、衝撃弾性波検査法がいいか検討します。今、塩ビ管の劣化状況について国総研さんなどを初めとして調査いただいておりますが、材料自体の劣化というよりは、外的要因の変化が主な原因のようです。私どもとしてまだ全体像は把握できておりませんが、何か評価できる手法があればと思います。

観音寺　アスファルトなどは針入度試験でコンスティンシーを調べていますので活用できるのではと思います。

渡辺　プラスチックも同様な方法が材料試験法であります。衝撃弾性波の延長で対応できる可能性も秘めています。貴重なヒントありがとうございました。

井藤　長時間、ありがとうございました。

観音寺　福岡市では合流区域で500㌔㍍程度のTVカメラ調査し、その画像を見ながら判定し更生していますので、合流区域では陥没も少なくなりました。ただ本管の陥没は少なくなりましたが、取付管の陥没が増えています。やはり維持管理の精度を増すためには、実績をフィードバックしながら次に活かさなくてはいけません。

なお、全国約43万㌔㍍のうち600㍉以下の管きょが約90％ですから700㍉以下という適用範囲の設定は正解だと思います。今後、多くの自治体において、衝撃弾性波による管路診断が活きてくると思います。

桔川　今後、包括的維持管理が主流になればリスク分担という意味で定量的なデータ分析が必要となります。

井藤　TVカメラで異常なし、さらに耐荷能力が評価できる場合には、耐用年数延伸の根拠に活用できそうです。

観音寺　衝撃弾性波による調査診断を加えることにより現状の60年、70年、100年というものが、さらに延びるのではないかと思います。また、管材の材質も年々新しくなっていますが、そのときに精度をあげることが必要ですので、定量的数値が必ず必要になってきます。視覚だけで永久的に劣化度合いを判断できないと思います。

渡辺　定量評価を続ければ高精度の優先順位付けができ、事業全体の平準化にもつながると思います。

桔川　浜松市の管路ストックは約3400㌔㍍です。そのうち約336㌔㍍ほどが30年を経過しております。昨年度は幸いにも大きな道路陥没もなく、取付管の破損程度で済んでいます。

管路調査は、下水道協会の指針に基づきながら、限られた予算のなかで行っています。主に30年を経過したヵ所をターゲットにTVカメラや目視をしています。

そうした経験も踏まえ、平成22年度に一番早く整備した処理区（2400㌶）で長寿命化計画策定に入り管路約60㌔㍍を調査し、このほど計画がまとまりました。他の処理区も今すすめているところです。

井藤　陶管のクラック有り無しは衝撃弾性波で測定できます。ただ具体的な強度数値は示せないので、今回の技術資料から外しています。それでは観音寺課長いかがですか。

観音寺　現在、福岡市全域で汚水・合流を含めて約4000㌔㍍（雨水含む全長6900㌔㍍）の管路ストックがございます。そのうちの約9割が800㍉以下の管きょというのが実態です。

管種では、約4割程度をコンクリート系が占めており、今回の技術資料にある適用範囲は800㍉未満ということですので、ニーズに合うと思います。

また30年以上を経過している管きょは約28％程度で、現在、長寿命化計画の策定はすすめていますが、平成17年に福岡県西方沖地震が発生したため、地震対策を先行させ、緊急輸送路直下や処理場間を連絡する重要な管路約850㌔㍍を全体計画としています。

一方、国では長寿命化計画をおおむね5年以内に策定させるという方針を打ち出していますので、これに合わせて策定することにしています。

なお、市内の汚水・合流管約4000㌔㍍のなかで長寿命化計画でやれるのは、補対事業となる320㌔㍍で、処分制限期間20年を経過していないものを除くと約300㌔㍍になります。かつ地震対策の850㌔㍍に長寿命化の補対管が2600㌔㍍ほど含まれますので、最終的に長寿命化計画に該当するものは、約40㌔㍍程度になります。地震対策を先行した結果、長寿命化計画と整合させるよう、市としての考え方を整理し、今年度中に長寿命化計画を策定する予定です。

井藤　次に管路調査診断に対するニーズについて、お願いします。

桔川　私どもはTVカメラ調査による視覚判断で危険度を判定し、修繕あるいは管更生しています。そのような意味で調査が一番大事ですが、できるだけコストは安く抑え、調査時間もできるだけ短縮できる方法が望まれます。また今後、調査診断の需要が増えることが想定されます。一方で調査診断分野も人材難ですので、機械的に判断できるような調査システムが必要になると思います。

さらにストックマネジメント手法が本格化すれば、計画的維持管理が主流となり、修繕・改築ヵ所の優先順位を決める必要が出てきます。従来のTVカメラ調査では、見る人によって評価が偏ったりしますので、客観的な定量評価手法が求められます。今回の衝撃弾性波は正に定量評価が強みですので、今後の進化に期待しているところです。

実は、企業誘致を目的とした大規模開発が行われ、そのときに工場排水を考慮し耐薬品性で優れた陶管が使われました。しかし平成17年に、道路陥没が発生し管内を調査したところ多くの陶管にクラックがありました。しかし陶管は約3万3000㌔㍍も布設されていたため、少しずつ調査していたわけですが、それでも多くのクラックが発見されました。偶然、地元に衝撃弾性波ロボットを保有する調査会社がありましたので定量的な評価を行うと、目視では何ら問題はないのに叩いたらNGだったというヵ所があり、掘り出して調べたら、管外側に中クラックがあったのです。

また、当市は長寿命計画策定の一環で下水道機構との共同研究として、劣化の著しい管きょの衝撃弾性波試験を行いました。中継ポンプ場から3㌔㍍圧送管路があって、その吐出先から下流約1㌔㍍が硫化水素で腐食していましたが、TVカメラ調査では管体強度まで評価できません。耐荷力、管・ヒューム管の300㍉以下は耐用年数が60年。300㍉以上799㍉以下および塩ビ管は70年。800㍉以上のヒューム管は100年など、経済的耐用年数を算出しております。

しかし当市は年間約20億円の改築・更新費を投資していますが、経済的耐用年数で設定すると年間約40億円と試算されました。そうなると、改築・更新の優先順位付けが難しくなります。年ごとに見直す必要があり、いかに予算を抑えるかが重要ですから診断は増加すると思います。また同時に財政収支計画も立てていますので、そのなかで改築・更新などの投資について議論していかざるを得ないのが現状です。

各都市は今後、維持管理計画を策定するなかで、投資効果の精度を高めることが重要になり、衝撃弾性波による定量的な数値解析の必要性が高まると考えています。積水化学では、計画的、持続的な維持管理を実現する方法として、管路管理・改築の包括委託を提案しています。

今までの維持管理はご存じの通り調査、清掃、補修、改築・更新など、それぞれの業務が単発発注され、多少一貫性に欠ける部分が出ている場合もあったかと思います。そうすると作業の重複や抜けが出て、ムダやクラックか減肉か仕分けようと相当努力はしたのですがデータが不足しており、今後の課題としました。

また、衝撃弾性波は一定の誤差を含んいるので、安全側で評価しなくてはいけませんが、あまり安全側で評価するとコスト縮減効果が薄れます。劣化要因の仕分けや実データでの検証結果が増えれば、もう少しギリギリの評価ができると思います。

渡辺　できるだけ既設管を有効利用するような改築ができるといいですよね。

観音寺　技術資料ではヒューム管を対象にしていますが、今後はいろいろな管種への展開が必要になってくると思います。今後、各自治体とも塩ビ系の老朽管が非常に多くなってくるし、コンクリート管だけが定量評価できて他のものが評価できないと市全体としての維持管理計画も偏った判断しかできなくなります。塩ビメーカでの対応を望んでいます。

もう一つは、衝撃弾性波検査の仕方です。現状ではヒューム管1本あたり1ヵ所しか打撃していませんが、打撃部と受信部をもう1セットつければ、劣化診断の精度があがるのではと思うのですが。

渡辺　おもしろいご意見と非常によいですね。

観音寺　自治体が望んでいるのはそこも含めてです。

桔川　下水道機構さんに望んでいるのはそこです。お墨付きとして使えることが非常に大事で、そこへの進化を期待しています。

池田　先ほど言った軸方向クラックと減肉の現象をはっきり区別できれば、期待に添えると思います。

井藤　波形を細かく分析し、高周波成分比の低下で見落としが発生する可能性があります。そこで地域内の管路網の維持管理を一つの企業ヵ所に集約すると考えています。

衝撃弾性波は10年以上前に、鎌田教授（現、大阪大学）らとともに開発した技術で、すでに多くの実績がありますが、今回、下水道機構さんのご協力を得て、さらに技術的な成熟がすすみました。管路のストックマネジメントや包括委託でも定量的データは非常に有効で、例えば台帳システムなど管理システムに衝撃弾性波の定量的データは入力することができます。そしてデータを一貫して活用できるシステムは、今後、ストックマネジメントをすすめるにあたって、または包括的な管路管理を行うにあたって強く求められる技術だと思っております。

井藤　次に技術資料の中身について触れていきたいと思います。まず池田部長からお願いします。

池田　技術資料は人が入れない700㍉以下の鉄筋コンクリート管が対象です。今までは人が入れず耐荷力等を把握できなかった。そこで目視で管の残存強度などを推定してしまった。今回は、強度も定量的に推計していくということが特徴です。

衝撃弾性波法は、2007年に当機構の審査証明で既設管劣化度の数値化は証明されていました。定量的な劣化診断の基礎は確立されたものの、新管の高周波成分比を100とし、破壊した管の高周波成分比を0として指標化した相対的な定量評価となっていました。これでは、実際に現在の残存強度は分かりませんので、埋設状態での作用荷重に対して安全な状態であるのか評価できません。それを今回は、各種試験を通じて残存強度を基にした絶対値化に近づけました。

試験内容は、200㍉から700㍉までの厚さをかえて減肉現象を再現した新しいコンクリート管や実際に埋設状態の既設管を掘り上げ、それを衝撃弾性波試験と破壊試験を行い、そのデータを基にして、高周波成分比と破壊荷重の関係式をつくりました。それにより既設管の耐荷能力評価、スパン判定基準に展開することができたことが技術資料の一番のポイントです。

もう一つは、TVカメラと衝撃弾性波法による試験結果を基にして二軸評価し、総合判定するという事例を記載し、優先順位付けに明確に応用できるようになりました。複合管は供用管種を拡大する、劣化予測曲線を描ける技術にするなど必ず取り組んでいきたいと思います。コスト面は非常に重要な問題ですので、例えば機材の簡素化など開発をすすめ、操作性も良くしていって日進量を少しずつでもあげられるような改良、改善を日々努力していきます。塩ビ管の劣化診断については、衝撃弾性波検査法がいいか検討します。今、塩ビ管の劣化状況について国総研さんなどを初めとして調査いただいておりますが、材料自体の劣化というよりは、外的要因の変化が主な原因のようです。私どもとしてまだ全体像は把握できておりませんが、何か評価できる手法があればと思います。

観音寺　アスファルトなどは針入度試験でコンスティンシーを調べていますので活用できるのではと思います。

渡辺　プラスチックも同様な方法が材料試験法であります。衝撃弾性波の延長で対応できる可能性も秘めています。貴重なヒントありがとうございました。

井藤　長時間、ありがとうございました。

観音寺　福岡市では合流区域で500㌔㍍程度のTVカメラ調査し、その画像を見ながら判定し更生していますので、合流区域では陥没も少なくなりました。ただ本管の陥没は少なくなりましたが、取付管の陥没が増えています。やはり維持管理の精度を増すためには、実績をフィードバックしながら次に活かさなくてはいけません。

なお、全国約43万㌔㍍のうち600㍉以下の管きょが約90％ですから700㍉以下という適用範囲の設定は正解だと思います。今後、多くの自治体において、衝撃弾性波による管路診断が活きてくると思います。

桔川　今後、包括的維持管理が主流になればリスク分担という意味で定量的なデータ分析が必要となります。

井藤　TVカメラで異常なし、さらに耐荷能力が評価できる場合には、耐用年数延伸の根拠に活用できそうです。

観音寺　衝撃弾性波による調査診断を加えることにより現状の60年、70年、100年というものが、さらに延びるのではないかと思います。また、管材の材質も年々新しくなっていますが、そのときに精度をあげることが必要ですので、定量的数値が必ず必要になってきます。視覚だけで永久的に劣化度合いを判断できないと思います。

渡辺　定量評価を続ければ高精度の優先順位付けができ、事業全体の平準化にもつながると思います。

桔川　浜松市の管路ストックは約3400㌔㍍です。そのうち約336㌔㍍ほどが30年を経過しております。昨年度は幸いにも大きな道路陥没もなく、取付管の破損程度で済んでいます。

管路調査は、下水道協会の指針に基づきながら、限られた予算のなかで行っています。主に30年を経過したヵ所をターゲットにTVカメラや目視をしています。

そうした経験も踏まえ、平成22年度に一番早く整備した処理区（2400㌶）で長寿命化計画策定に入り管路約60㌔㍍を調査し、このほど計画がまとまりました。他の処理区も今すすめているところです。

井藤　陶管のクラック有り無しは衝撃弾性波で測定できます。ただ具体的な強度数値は示せないので、今回の技術資料から外しています。それでは観音寺課長いかがですか。

観音寺　現在、福岡市全域で汚水・合流を含めて約4000㌔㍍（雨水含む全長6900㌔㍍）の管路ストックがございます。そのうちの約9割が800㍉以下の管きょというのが実態です。

管種では、約4割程度をコンクリート系が占めており、今回の技術資料にある適用範囲は800㍉未満ということですので、ニーズに合うと思います。

また30年以上を経過している管きょは約28％程度で、現在、長寿命化計画の策定はすすめていますが、平成17年に福岡県西方沖地震が発生したため、地震対策を先行させ、緊急輸送路直下や処理場間を連絡する重要な管路約850㌔㍍を全体計画としています。

一方、国では長寿命化計画をおおむね5年以内に策定させるという方針を打ち出していますので、これに合わせて策定することにしています。

なお、市内の汚水・合流管約4000㌔㍍のなかで長寿命化計画でやれるのは、補対事業となる320㌔㍍で、処分制限期間20年を経過していないものを除くと約300㌔㍍になります。かつ地震対策の850㌔㍍に長寿命化の補対管が2600㌔㍍ほど含まれますので、最終的に長寿命化計画に該当するものは、約40㌔㍍程度になります。地震対策を先行した結果、長寿命化計画と整合させるよう、市としての考え方を整理し、今年度中に長寿命化計画を策定する予定です。

井藤　次に管路調査診断に対するニーズについて、お願いします。

桔川　私どもはTVカメラ調査による視覚判断で危険度を判定し、修繕あるいは管更生しています。そのような意味で調査が一番大事ですが、できるだけコストは安く抑え、調査時間もできるだけ短縮できる方法が望まれます。また今後、調査診断の需要が増えることが想定されます。一方で調査診断分野も人材難ですので、機械的に判断できるような調査システムが必要になると思います。

さらにストックマネジメント手法が本格化すれば、計画的維持管理が主流となり、修繕・改築ヵ所の優先順位を決める必要が出てきます。従来のTVカメラ調査では、見る人によって評価が偏ったりしますので、客観的な定量評価手法が求められます。今回の衝撃弾性波は正に定量評価が強みですので、今後の進化に期待しているところです。

実は、企業誘致を目的とした大規模開発が行われ、そのときに工場排水を考慮し耐薬品性で優れた陶管が使われました。しかし平成17年に、道路陥没が発生し管内を調査したところ多くの陶管にクラックがありました。しかし陶管は約3万3000㌔㍍も布設されていたため、少しずつ調査していたわけですが、それでも多くのクラックが発見されました。偶然、地元に衝撃弾性波ロボットを保有する調査会社がありましたので定量的な評価を行うと、目視では何ら問題はないのに叩いたらNGだったというヵ所があり、掘り出して調べたら、管外側に中クラックがあったのです。

また、当市は長寿命計画策定の一環で下水道機構との共同研究として、劣化の著しい管きょの衝撃弾性波試験を行いました。中継ポンプ場から3㌔㍍圧送管路があって、その吐出先から下流約1㌔㍍が硫化水素で腐食していましたが、TVカメラ調査では管体強度まで評価できません。耐荷力、管・ヒューム管の300㍉以下は耐用年数が60年。300㍉以上799㍉以下および塩ビ管は70年。800㍉以上のヒューム管は100年など、経済的耐用年数を算出しております。

しかし当市は年間約20億円の改築・更新費を投資していますが、経済的耐用年数で設定すると年間約40億円と試算されました。そうなると、改築・更新の優先順位付けが難しくなります。年ごとに見直す必要があり、いかに予算を抑えるかが重要ですから診断は増加すると思います。また同時に財政収支計画も立てていますので、そのなかで改築・更新などの投資について議論していかざるを得ないのが現状です。

各都市は今後、維持管理計画を策定するなかで、投資効果の精度を高めることが重要になり、衝撃弾性波による定量的な数値解析の必要性が高まると考えています。積水化学では、計画的、持続的な維持管理を実現する方法として、管路管理・改築の包括委託を提案しています。

今までの維持管理はご存じの通り調査、清掃、補修、改築・更新など、それぞれの業務が単発発注され、多少一貫性に欠ける部分が出ている場合もあったかと思います。そうすると作業の重複や抜けが出て、ムダやクラックか減肉か仕分けようと相当努力はしたのですがデータが不足しており、今後の課題としました。

また、衝撃弾性波は一定の誤差を含んいるので、安全側で評価しなくてはいけませんが、あまり安全側で評価するとコスト縮減効果が薄れます。劣化要因の仕分けや実データでの検証結果が増えれば、もう少しギリギリの評価ができると思います。

渡辺　できるだけ既設管を有効利用するような改築ができるといいですよね。

観音寺　技術資料ではヒューム管を対象にしていますが、今後はいろいろな管種への展開が必要になってくると思います。今後、各自治体とも塩ビ系の老朽管が非常に多くなってくるし、コンクリート管だけが定量評価できて他のものが評価できないと市全体としての維持管理計画も偏った判断しかできなくなります。塩ビメーカでの対応を望んでいます。

もう一つは、衝撃弾性波検査の仕方です。現状ではヒューム管1本あたり1ヵ所しか打撃していませんが、打撃部と受信部をもう1セットつければ、劣化診断の精度があがるのではと思うのですが。

渡辺　おもしろいご意見と非常によいですね。

観音寺　自治体が望んでいるのはそこも含めてです。

桔川　下水道機構さんに望んでいるのはそこです。お墨付きとして使えることが非常に大事で、そこへの進化を期待しています。

池田　先ほど言った軸方向クラックと減肉の現象をはっきり区別できれば、期待に添えると思います。

井藤　波形を細かく分析し、高周波成分比の低下で見落としが発生する可能性があります。そこで地域内の管路網の維持管理を一つの企業ヵ所に集約すると考えています。

衝撃弾性波は10年以上前に、鎌田教授（現、大阪大学）らとともに開発した技術で、すでに多くの実績がありますが、今回、下水道機構さんのご協力を得て、さらに技術的な成熟がすすみました。管路のストックマネジメントや包括委託でも定量的データは非常に有効で、例えば台帳システムなど管理システムに衝撃弾性波の定量的データは入力することができます。そしてデータを一貫して活用できるシステムは、今後、ストックマネジメントをすすめるにあたって、または包括的な管路管理を行うにあたって強く求められる技術だと思っております。

井藤　次に技術資料の中身について触れていきたいと思います。まず池田部長からお願いします。

池田　技術資料は人が入れない700㍉以下の鉄筋コンクリート管が対象です。今までは人が入れず耐荷力等を把握できなかった。そこで目視で管の残存強度などを推定してしまった。今回は、強度も定量的に推計していくということが特徴です。

衝撃弾性波法は、2007年に当機構の審査証明で既設管劣化度の数値化は証明されていました。定量的な劣化診断の基礎は確立されたものの、新管の高周波成分比を100とし、破壊した管の高周波成分比を0として指標化した相対的な定量評価となっていました。これでは、実際に現在の残存強度は分かりませんので、埋設状態での作用荷重に対して安全な状態であるのか評価できません。それを今回は、各種試験を通じて残存強度を基にした絶対値化に近づけました。

試験内容は、200㍉から700㍉までの厚さをかえて減肉現象を再現した新しいコンクリート管や実際に埋設状態の既設管を掘り上げ、それを衝撃弾性波試験と破壊試験を行い、そのデータを基にして、高周波成分比と破壊荷重の関係式をつくりました。それにより既設管の耐荷能力評価、スパン判定基準に展開することができたことが技術資料の一番のポイントです。

もう一つは、TVカメラと衝撃弾性波法による試験結果を基にして二軸評価し、総合判定するという事例を記載し、優先順位付けに明確に応用できるようになりました。複合管は供用管種を拡大する、劣化予測曲線を描ける技術にするなど必ず取り組んでいきたいと思います。コスト面は非常に重要な問題ですので、例えば機材の簡素化など開発をすすめ、操作性も良くしていって日進量を少しずつでもあげられるような改良、改善を日々努力していきます。塩ビ管の劣化診断については、衝撃弾性波検査法がいいか検討します。今、塩ビ管の劣化状況について国総研さんなどを初めとして調査いただいておりますが、材料自体の劣化というよりは