

都市整備局・住宅政策本部業務体験発表会 (令和3年度) 概要書	
所 属	
発表テーマ	特定緊急輸送道路における通行機能の評価に関する検討
発表者氏名	
発表の概要	<p>【背景】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地震直後から発生する緊急輸送などを円滑に行うため、高速道路や幹線道路などが<u>緊急輸送道路</u>として地域防災計画に指定されている ○ 緊急輸送道路の中でも、特に沿道建築物の耐震化を図る必要がある道路を<u>特定緊急輸送道路</u>として指定している。 ○ 建築物の耐震改修の促進のため、都は<u>耐震改修促進計画</u>を策定し、本計画において、特定緊急輸送道路沿道建築物に対する<u>耐震化率</u>を目標設定していた。 <p>【取組内容】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 特定緊急輸送道路は震災時に緊急輸送を円滑に行う目的であるが、耐震改修の進捗度を表す耐震化率では、震災時の通行機能がどの程度確保されているのか定量的な把握が難しく、どの路線が道路閉塞の可能性が高いのかといったことが分かりづらかった。そこで、震災時の緊急輸送道路の通行機能をよりの確に表す<u>到達率</u>を新たな指標として導入した。 ○ 到達率の導入に当たっては、どのように諸条件を設定すると震災時の通行機能をよりの確に評価することが可能か、<u>シミュレーション</u>を行いながら検討を重ねた。緊急輸送道路としての機能を確保するためには、他県からの緊急車両が任意の目的地に到達できることが重要であると考え、通行する道路の設定や建築物の倒壊方向、またどのような条件をもって到達可能と判断するのか検証した。 <p>【今後の展望】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 今回、特定緊急輸送道路にのみ到達率の概念を導入したが、実際の震災時には、緊急輸送道路全体を使用することが想定される。そのため、特定緊急輸送道路以外の緊急輸送道路である<u>一般緊急輸送道路</u>を含め、到達率を評価していくべきではないかと考える。

特定緊急輸送道路における通行機能の評価に関する検討

1 はじめに

政府は、「SDGs アクションプラン 2020」において、今後の 10 年を 2030 年の目標達成に向けた「行動の 10 年」とすべく、2020 年に実施する政府の具体的な取組を盛り込んだ。3 本柱の一つに「SDGs を原動力とした地方創生、強靱かつ環境に優しい魅力的なまちづくり」が定められており、その中で、強靱なまちづくりとして、「防災・減災、国土強靱化の推進、エネルギーインフラ強化やグリーンインフラの推進」、「質の高いインフラの推進」が言及されている。

また、近年、熊本地震や北海道胆振東部地震の大地震が頻発しており、特に東北地方太平洋沖地震（平成 23 年 3 月）は日本の観測史上最大のマグニチュード 9.0 を記録し、東北地方から関東地方に至るまで太平洋沿岸を中心に多くの人命が失われるなど甚大な被害をもたらした。都内においては、首都直下地震が今後 30 年以内に約 70%の確率で発生すると推定されており、大地震がいつ発生してもおかしくない状況である。

今回紹介する「緊急輸送道路」は、大地震発生時に救急救命の生命線となる幹線道路（約 2,000 km）であり、東京 2020 大会後の強靱で持続可能な都市をつくるための大きな役割を担っている。都は平成 23 年 3 月に、「東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例（以下「条例」という。）」を制定し、緊急輸送道路の沿道建築物の耐震化を推進してきた。緊急輸送道路のうち、特に沿道建築物の耐震化を図る必要があると認められる道路（約 1,000 km）を「特定緊急輸送道路」として指定し、全国で初めてとなる緊急輸送道路の沿道建築物に対する耐震診断を義務付けた。



図 1 主要幹線道路が閉塞される様子

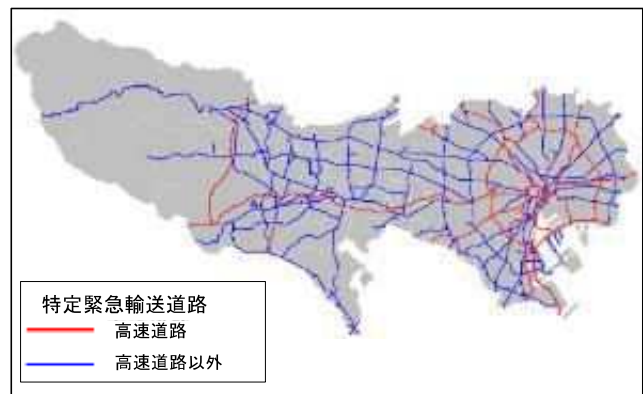
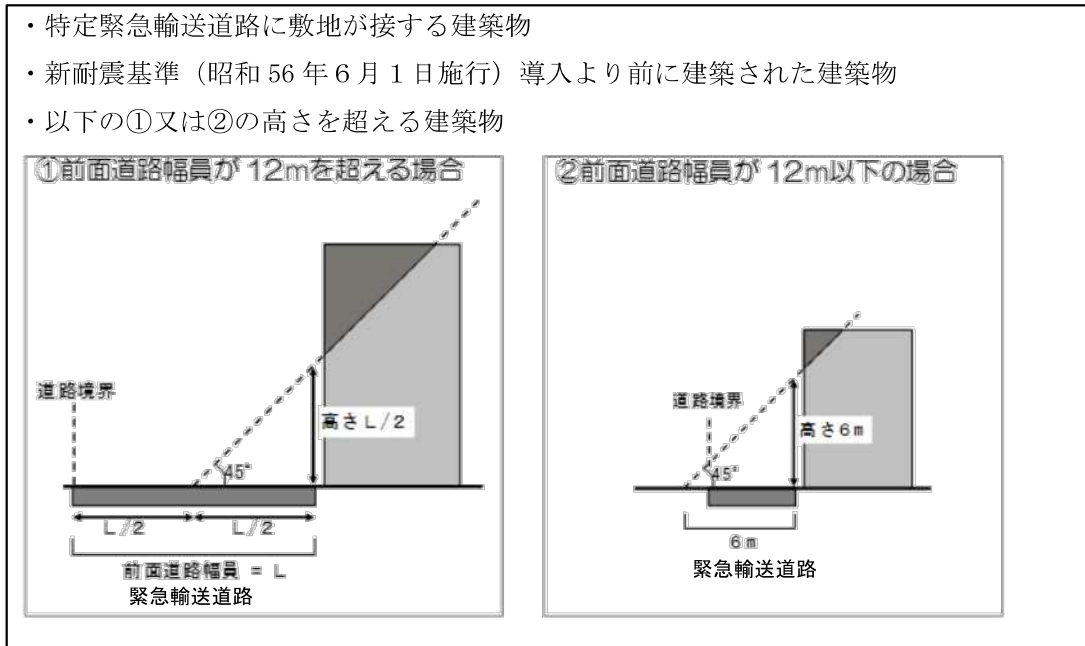


図 2 特定緊急輸送道路

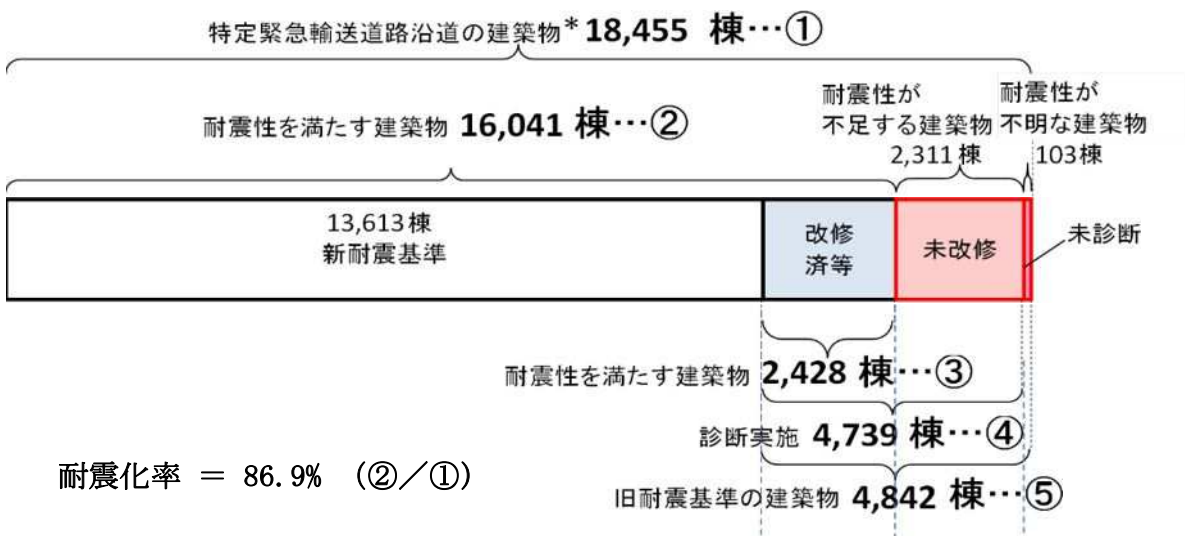
具体的には、以下三つの条件（表 1）全てに当てはまる建築物を特定緊急輸送道路沿道建築物（以下「特定沿道建築物」という。）と定めて、東京都耐震改修促進計画（以下「促進計画」という。）に位置付け、区市町村等と連携の上、都内の建物の耐震診断・耐震改修等の促進に取り組んでいる。

表 1 特定緊急輸送道路沿道建築物の要件



耐震診断の結果、建築物の地震に対する安全性を評価することができ、耐震性を示す指標である I_s 値（非木造建築物）や I_w 値（木造建築物）を用いて、建物ごとの耐震性能が表示される。非木造建築物の場合、 I_s 値が 0.6 未満の建築物について、耐震性が不十分であるとしており、上記の高さ要件を満たす建築物のうち、耐震性を満たす建築物数を建築物数で除して得られた割合を耐震化率として、促進計画における目標設定の指標としてきた。

平成 28 年 3 月に改定した促進計画では、特定沿道建築物に対する目標を、令和元年度までに耐震化率 90%、かつ、特に倒壊の危険性が高い建築物（ I_s 値が 0.3 未満相当の建築物の解消）と設定し、耐震化事業に取り組んでいた。



* 特定緊急輸送道路に敷地が接しており、所定の高さを超える建築物

図 3 特定沿道の建築物の耐震化状況（令和 3 年 6 月時点）

従来、特定緊急輸送道路沿道建築物の評価指標として耐震化率を用いてきたが、耐震改修推進の程度を把握する上では優れているものの、実際にどの程度特定緊急輸送道路の通行機能が確保されているのか分かりづらいという課題があった。

そこで、当課では、強靱で持続可能な都市に不可欠な要素である緊急輸送道路の通行機能を的確に表すため、耐震化率に代わってある地点に到達できる可能性を表す到達率という新たな指標を導入した。本稿では、新しい指標を導入するに当たって、通行機能の評価に必要な条件設定等に様々な検討を要し、実際に取り組んだ内容や苦労した点について紹介する。

2 新たな指標導入の目的と課題

耐震化率に代わり新たに到達率という指標を導入することの目的は、到達率を用いることで、実際にどの程度緊急輸送道路の通行機能が確保されているのかを評価することであった。このため、非常時の救急救命活動に使用すると想定される道路をより現実に即した形で評価する必要がある。さらに、到達率は促進計画に位置付ける目標値として妥当な数値とするとともに、到達率という概念を都民にとって分かりやすく、理解を得られる指標にする必要がある。

3 通行機能の評価に係る取組

前章で挙げた目的を達成するために、都市防災の専門家等を委員とした検討会を行いながら、通行機能確保に係るシミュレーションや分析作業を行った。検討過程では、様々な条件設定の検討を行ったが、本稿では主に使用する道路と進入地点の設定に係る検証の取組を記述する。

3-1 通行機能評価の考え方

到達率の導入に当たって、既往の研究データから建物 I_s 値と建物倒壊確率の関係が判明しているため、仮想の地震を発生させて倒壊シミュレーションを実行することで通行可能性を評価しようとした。沿道建築物が倒壊する場合でも、余裕幅が6 m以上であれば緊急車両は通過できると考え、他県からの応援に来る車両が目的地まで到達できるのかを到達率と定義した。

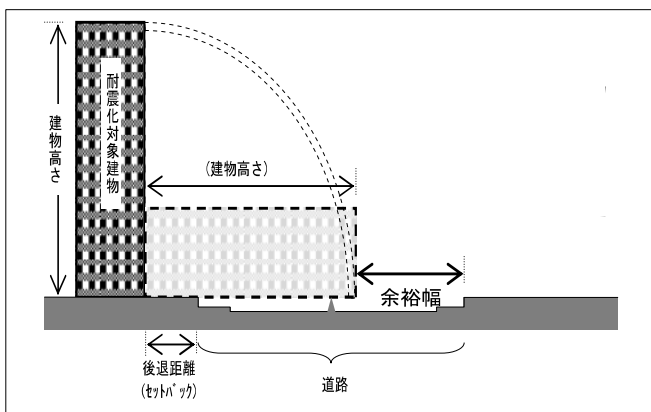


図4 建物倒壊と余裕幅の考え方

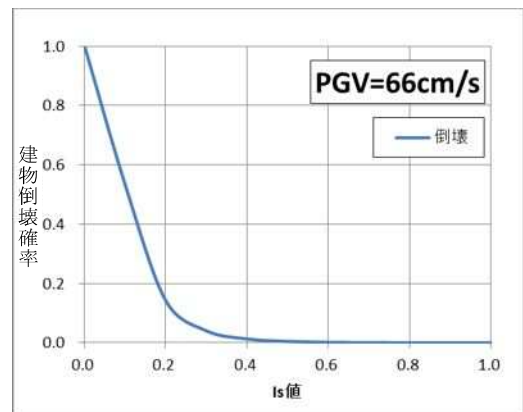


図5 I_s 値と建物倒壊確率の関係 (※)

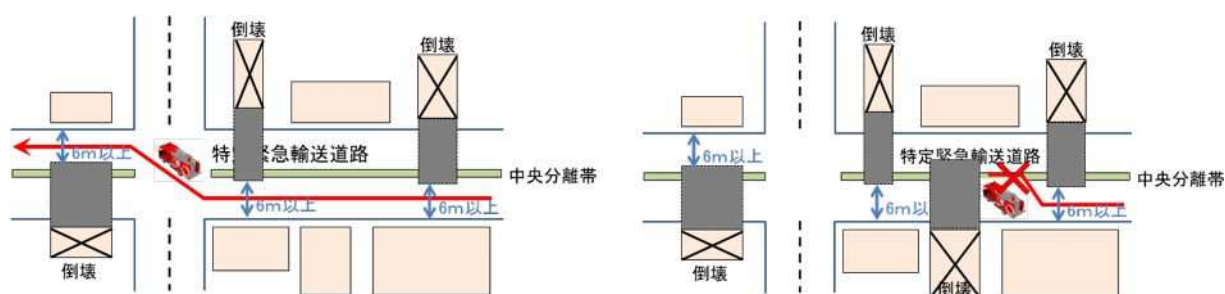


図6 緊急車両通行可否の判断

実際には、何千回とシミュレーションを行うことで、実際に地震が発生した際の緊急輸送道路の通行機能をよりの確に評価した。シミュレーションの設定条件として、地震強度や倒壊確率、緊急車両の通行可能幅員といったパラメータは既に適当なデータがあったため、これらを用いることができた。しかし、大地震発生時に使用する道路や都県境からの進入地点、建物の倒壊方向といった設定条件はシミュレーションに係る検討を行う中で、適切な条件となるよう決定していく必要があった。

3-2 使用する道路の設定にかかる検証

シミュレーションを行うに当たって、実際に地震が発生した際に使用する道路をどこの路線に設定するかが大きな議論として挙げられた。そこでまず、促進計画上の緊急輸送道路の区分を整理した。

表2 促進計画における緊急輸送道路の区分

道路種別	特定緊急輸送道路	一般緊急輸送道路
促進計画上の位置付け	緊急輸送道路のうち、特に沿道建築物の耐震化を図るべき道路	特定緊急輸送道路以外の緊急輸送道路
H23年当初指定の考え方	地域防災計画上の第一次緊急輸送道路	地域防災計画上の第二次、第三次緊急輸送道路
耐震診断	義務	努力義務
耐震改修	努力義務	努力義務

表3 地域防災計画上の緊急輸送道路の区分とその目的

分類	目的	説明
第一次	都と区市町村本部間及び都と他県との連絡を図る。	応急対策の中核を担う都庁本庁舎、立川地域防災センター、区市町村庁舎、輸送路管理機関及び重要港湾、空港等を連絡する輸送路
第二次	第一次緊急輸送路と救助、医療、消火等を行う主要初動対応機関との連絡を図る。	第一次緊急輸送路と放送機関、自衛隊や警察・消防・医療機関等の主要初動対応機関、ライフライン機関、ヘリコプター災害時臨時離着陸場候補地等を連絡する輸送路
第三次	主に緊急物資輸送拠点間の連絡を図る。	トラックターミナルや駅等の広域輸送拠点、備蓄倉庫と区市町村の地域内輸送拠点等を連絡する輸送路

まず、全ての道路をシミュレーションの対象とするかという議論があったが、実際の震災時には、通行可能な道路を使用すると想定されるが、地域防災計画において緊急輸送道路となっていない道路は、緊急車両の通行に必要とされる道路幅員6mに満たないものも多く、ここではシミュレーションを行う上での道路からは除外することとした。

次に、緊急輸送道路の中で、どの道路を対象とするかであるが、建物個々のIs値がわからないと、建物倒壊確率が求められないという問題があった。特定沿道建築物と異なり、一般緊急輸送道路沿道建築物（以下「一般沿道建築物」という。）は条例で耐震診断を義務付けておらず、実際に耐震改修を行う意向を持つ建物所有者でないと、なかなか耐震診断を実施してもらえないのが現状であった。そのため、一般沿道建築物のうち、Is値が不明である建物は5,403棟中4,139棟と4分の3以上存在し、多くの沿道建築物で倒壊確率を求めることができないため、一般緊急輸送道路を使用する道路と設定し、シミュレーションを行うことは難しいという意見が挙げられた。

表4 一般沿道建築物の耐震化状況（令和2年6月末時点）

総数	昭和56年以前の建築物			昭和57年以降の建築物	建築物数	耐震性を満たす建築物数	耐震化率
	耐震性あり	耐震性なし	耐震性不明				
5,403	1,084	180	4,139	19,044	24,447	20,550	84.1%

一方で、一般緊急輸送道路は、警察署や消防署等の地域の主要な防災拠点等を結ぶ路線であり、震災時の避難所や物資輸送の観点から重要な道路である。確かに、一般沿道建築物のIs値は不明なものも多く存在するものの、既にほとんどの建物で耐震診断が完了している特定沿道建築物の平均Is値が0.31と判明していることから、一般沿道建築物におけるIs値不明建築物をIs値0.31としてシミュレーションを行うことができるのではないかという意見もあった。特定沿道建築物と一般沿道建築物の違いは、前面道路が特定緊急輸送道路か一般緊急輸送道路の点のみであり、基本的にはいずれも幹線道路等の広幅員道路であることから、建物の用途や構造に大きな差異はなく、安全側に見積もってIs値を例えば0.25にすれば、技術上は緊急輸送道路全体で到達率のシミュレーションを行うことは可能と思われた。

こういった議論を重ね、最終的には、都民の理解を得るという観点から、従来の特定沿道建築物の目標指標としてきた耐震化率に代わる指標として到達率を導入する以上、一般緊急輸送道路を使用道路として設定すると新旧の目標設定の整合性を説明することが困難であることや、特定沿道建築物の耐震化に注力するには一般緊急輸送道路は含まずに目標設定した方が良いという結論に至り、シミュレーション上で使用道路は特定緊急輸送道路と決定することができた。

3-3 目的地への到達にかかる検証

(1) 都県境から進入するルート数の設定

大規模災害の発生時には、広域連携が必要かつ重要であると考えられており、都内だけで緊急輸送を完結することは不可能に近いと、他県から緊急車両が都内へ流入することを想定し、都県境

の進入地点を何か所と設定するかを検討した。まず、首都直下地震道路啓開計画の優先啓開ルート（高速道路8ルート）は重要であると考えた。

また、高速道路以外からの進入も考慮すべきとし、大地震時に第一次交通規制に指定されている一般道のルート（一般道5ルート）も追加した。これらだけだと、千葉方面から進入する道路が少ないため、千葉県側からの一般道によるアクセス道路（一般道1ルート）を加え、計14ルートを都県境からの進入路とすることを考えた。

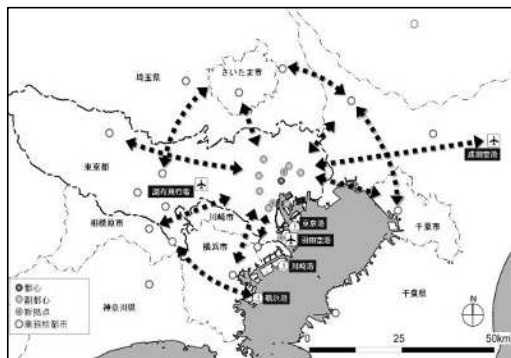


図7 非常時における他県との連携



図8 都県境からの進入地点14ルート

しかし、専門家を交えた検討会の中で、地震発災直後には、高速道路上の車両は全て追い出され、安全点検する時間があり、一般道も同様に安全点検され、啓開等の必要性も高いことが指摘された。この意見を受け、高速道路と一般道を区別せず、閉塞していない道路は全て使用することとした。実際、防災拠点によっては都県境にあるものもあり、震災時には14地点以外の最寄りの地点から進入する方が素直であると考えた。よって、特定緊急輸送道路が県境に接続している合計51か所を進入地点として整理することができた。

(2) 到達率の検証

次に、51か所の進入地点のうち、何か所以上から目的地へ到達できれば、緊急時に到達可能とするのかを検証した。ここでの目的地は、他県からの応援部隊が円滑に活動できる拠点となる地域防災計画で定められた59か所の大規模救出救助活動拠点（以下「活動拠点」という。）に限定することで、シミュレーションによる分析を容易にした。

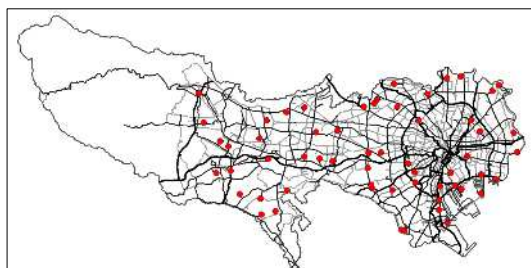


図9 大規模救出救助活動拠点59か所

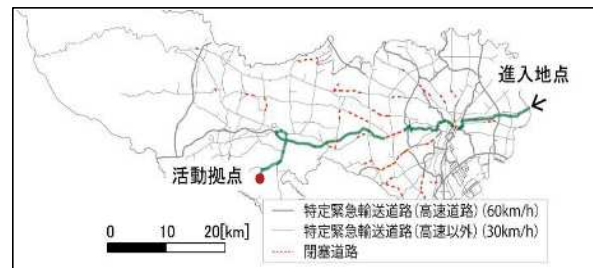


図10 活動拠点までの到達イメージ

まず考えられたのが、59の活動拠点それぞれについて、例えば1,000回のシミュレーションのうち何回到達できたかを算出し、平均的な到達率を出すという案であった。この案の場合、51か所全ての進入地点が考慮される一方で、都民の一般的な感覚として、この拠点には行けるかどうかが理

解しづらいという欠点があった。そのため、各活動拠点から見て、どこかの進入地点から到達できればいいと考えることにした。

しかし、少なくとも1か所の進入地点から到達できればよいことにすると、非常に危険である事例があった。例えば、活動拠点の1つである足立清掃工場は、埼玉県との都県境に位置している。



図 11 都県境に位置する足立清掃工場付近の特定緊急輸送道路

足立清掃工場の場合、特定緊急輸送道路である日光街道が近くに通っており、北側の埼玉県から進入すればすぐに到達できる。しかし、本拠点から東京都側に続く日光街道は非常に長い区間であり、この区間で道路閉塞の確率が蓄積されてしまう。シミュレーションの結果、埼玉県側からは到達可能だが、東京都側に抜けることができないことが判明した。



図 12 目黒清掃工場付近の行き止まり型の特定緊急輸送道路

また、目黒清掃工場の例では、本拠点の北側には目黒区役所があり、本拠点の近くを通る山手通りは区役所までが特定緊急輸送道路となるため、シミュレーションを行う上では区役所で行き止まりとなってしまいます。少なくとも1か所の進入地点から到達できればよいと考えたとしても、50%に満たない低い到達率となることが分かった。

これらの事例を踏まえ、51か所の進入地点のうち、何か所以上から到達できればよいかを検証することとした。ここでは、N箇所以上の進入地点から各活動拠点にたどり着ける場合に到達可能とみなし、拠点別の進入地点数Nと到達率の相関グラフを作成した。

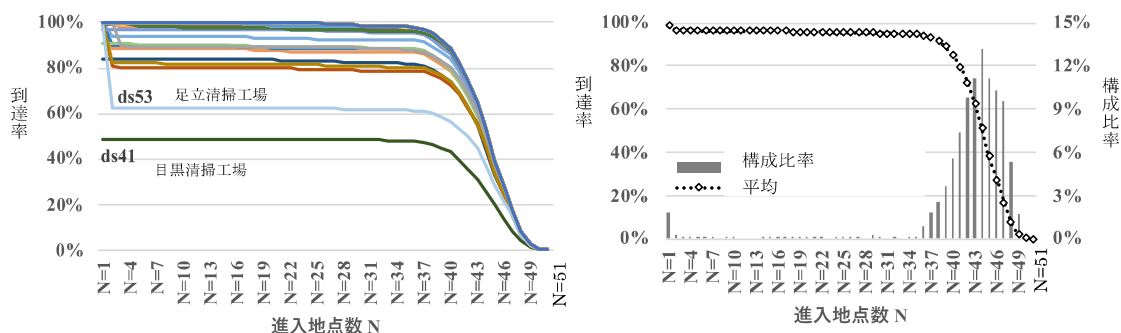


図 13 左) 到達率 (拠点別)、右) 59 か所の活動拠点への平均到達率

さらに、59か所の活動拠点への平均をとったグラフを作成することで、具体的にNをいくつに設定するか活発に議論を行うことができた。グラフから、Nが34あたりから到達率が急激に下がることが分かり、全ての進入地点から到達可能とするN=51は現実味がないことが明らかとなった。世論形成の部分で、Nが小さすぎると緩すぎる設定となり、Nが大きすぎると目標として現実味の無いものになってしまうことを考慮し、半数以上から進入できればよいとすると都民感覚として理解しやすいのではないかと考えた。そこで、51地点の過半であるN=26を提案するとともに、N=26で到達率が90%以下になってしまう活動拠点をまとめた。

表 5 各活動拠点への到達率と平均値

活動拠点	少なくとも1か所から到達できる確率 (N=1)	過半から到達できる確率 (N=26)
都立木場公園	100%	99.7%
都立舎人公園	100%	99.7%
...		
北清掃工場	99.0%	82.1%
足立清掃工場	100%	66.1%
目黒清掃工場	45.2%	44.9%
全59か所	平均98.5% (平均4か所)	平均96.4% (平均以下7か所)

分析の結果、一部の到達率の低い拠点を除き、各拠点までおおむね到達できることを確認できた。また、N=26の平均到達率は96.4%であったが、平均以下7拠点はいずれも90%以下であり、50%に満たない目黒清掃工場のように、到達率の低い一部の拠点が全体の平均値を引き下げていることが分かった。こういった到達率の低い拠点を100%まで上昇させることは、計画目標としては現実的でなく、かえって都民の耐震化意欲を削ぐおそれもあった。

そこで、到達率を区間ごとの通行機能を表す区間到達率と、区間到達率の平均値に相当する道路網全体の通行機能を表す総合到達率という二つの指標で表すこととし、区間到達率 95%未満の解消及び総合到達率 99%以上を計画目標とすることで、都民の理解を得ることのできる目標設定とすることができた。

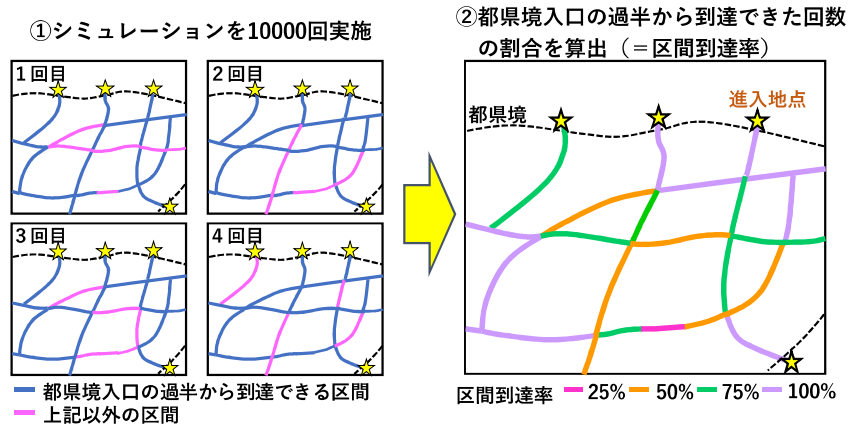


図 14 区間到達率の算出イメージ

4 到達率の導入による効果

こうして、耐震化率に代わる到達率の概念を導入したことにより、耐震性があると判断される建物 I_s 値 0.6 以上とならない段階的な改修工事であっても、 I_s 値が上昇することによる建物倒壊確率の低減を到達率に反映し、通行機能を定量的に評価することが可能となった。

また、シミュレーションを基にした分析により、ランダムに耐震化を図るよりも、 I_s 値の小さな建物から順番に改修を行う方が、より短い期間で到達率を上昇させることが明らかとなった。この結果を受け、建物 I_s 値を 0.3 以上にする耐震改修工事に対する助成制度を昨年度から開始する等、耐震化の促進策につなげることができた。

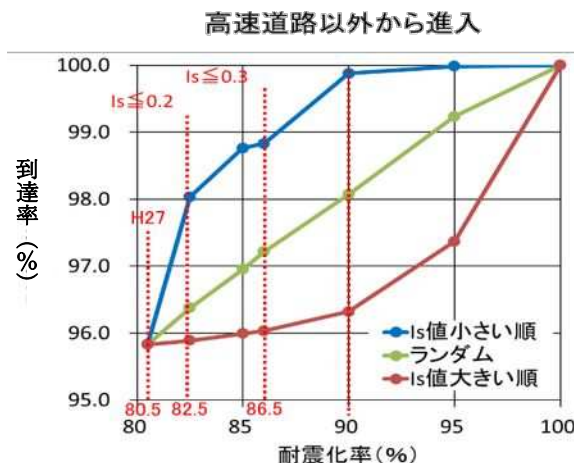


図 15 耐震化率と各活動拠点への到達率

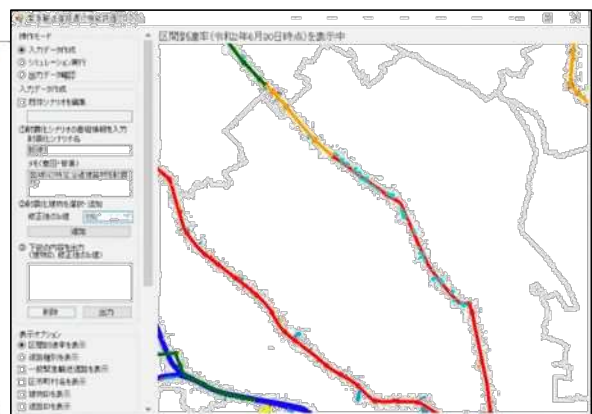


図 16 シミュレーションアプリ

さらに、区市町村による促進計画の策定を支援するため、専門家と共同でシミュレーションアプリを開発した。本アプリを取扱説明書と合わせて配布することで、どの建物の耐震改修を行えば、区間到達率がどの程度改善するか等、ボトルネック路線の可視化を区市町村で行うことが可能となった。

5 今後の展望

今回のシミュレーションに当たっては、便宜上特定緊急輸送道路を使用する道路に設定したが、実際の緊急時には一般緊急輸送道路の通行も想定されるため、今後一般沿道建築物の耐震化を加速していく中で期待される建物 I_s 値の把握により、緊急輸送道路全体でシミュレーションを行うことが可能となり、よりの確に通行機能を評価することができるようになると思う。

前面道路側に倒壊する確率 $1/4 \times$ 安全率 $2 = 1/2$

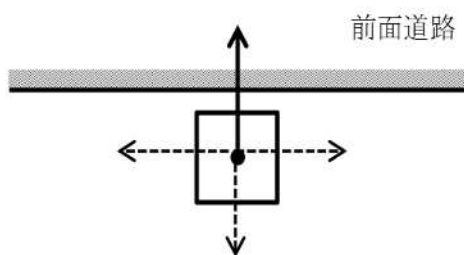


図 17 建物倒壊方向の考え方

また、建物の倒壊方向について、2分の1の確率で道路側に倒れると設定したが、過度に安全側の想定をすることにより、深刻な道路閉塞の危険性が、それほど深刻ではない道路閉塞の危険性の中に埋没してしまい、耐震化推進を図る上で重要な情報を見失う危険性がある。耐震診断を実施すれば建物の階ごとの X 方向、Y 方向の I_s 値が分かり、地震に対する脆弱な箇所が特定できるため、倒壊確率を4方向ごとに算出することは可能と思われる。

さらに、本シミュレーションでは、進入地点から目的地までの所要時間に関して、最短距離での所要時間を1としたとき、到達可能である活動拠点にはほとんどの場合で1.1や1.2程度で到達できるため、所要時間はパラメータとして採用しなかった。しかし、実際の災害時には1分1秒を争う緊急事態が都内各地で発生することが想定され、どれだけ早く被災箇所^{ぜい}に到達できるかは非常に重要な要素である。そのため、たとえ目的地に到達可能な場合でも、たどり着くまでに一定以上の時間を要する進入地点は除外するといった、所要時間も設定条件に入れたシミュレーションを行うことができると、よりリアリティのある検証が可能になると考える。

6 おわりに

本事業は、首都直下地震の切迫性が指摘される中、都民の生命と財産を保護するとともに、災害に強い東京を実現することを目的としており、東京2020大会後の強靱^{じん}で持続可能な都市の実現に貢献するものである。

引き続き、区市町村と連携しながら所有者への個別訪問等の働きかけや助成制度の周知を実施するとともに、これまでの耐震化事業の整理や分析を行い、今後の更なる促進策を検討し事業に反映させることで、特定沿道建築物のみならず、一般沿道建築物も含めた耐震化事業を一層加速させ、いつ起こるかわからない大地震に備え、本事業の推進を図っていく

各地で地震が頻発する中、東京の防災対応力の強化を図り、たとえ大地震が発生したとしても、救急・救命活動や緊急支援物資の輸送を円滑に行い、首都機能を維持することのできる強靱^{じん}で持続可能な大都市東京の更なる発展に貢献していけるよう、本業務の中で学んだ内容をいかし、今後も耐震化事業に取り組む所存である。

7 参考文献

※ 林 康裕ほか「耐震診断結果を利用した既存 RC 造建築物の地震リスク表示」(地域安全学会論文集(2)、2000年11月)235-242頁。

都市整備局・住宅政策本部業務体験発表会 (令和3年度) 概要書	
所 属	
発表テーマ	道路整備における地上・地下 3D 化の試行について
発表者氏名	
発表の概要	<p>【背景】 働き方改革やコロナ禍によりリモートワークの導入促進やDX推進の社会的要請が求められており、工事分野においても ICT 化等による業務の効率化が求められている。</p> <p>【取組内容】 当事務所の工事現場を実験フィールドとして今後の設計業務や工事監督業務の効率化を図る目的で、地上・地下 3D 化の試行を行った業務体験について発表する。</p>

道路整備における地上・地下 3D 化の試行について

1 はじめに

本報告では、現在の東京都の業務の課題に対して、DX 推進を図り職場での業務効率化を目的として試行した業務体験について報告する。

2 3D 化への背景

2-1 国の動向

国土交通省では、平成 29 年度から建設現場の生産性向上を図る i-Construction の取組において、これまでの 3 次元モデルを活用し社会資本の整備、管理を行う CIM を導入することで受発注者双方の業務効率化・高度化を推進している。

また、土木分野での国際標準化の流れを踏まえ、Society5.0 における新たな社会資本整備を見据えた 3 次元データを基軸とする建設生産・管理システムを実現するための BIM/CIM という概念において再構築するとともに、産学官一体となった推進委員会を設置し議論している。

CIM (Construction Information Modeling/Management) とは、建設業務の効率化を目的とする取組のことである。平成 24 年に国土交通省が提言したもので、既に建築分野で進行していた BIM を手本に開始された。取組の内容は、3 次元モデルを主体とする情報を関係者間で共有し、一連の建設生産システムを高度で効率的なものである。現行の CIM では、ライフサイクル全体を見据えた情報マネジメントと共に 3 次元モデルの活用による情報の可視化に重点が置かれている。現在の取組に至る理由になったのは、平成 28 年 3 月までに行われた約 70 件に及ぶ試行過程で、モデル情報の集約、建設ライフサイクルを見通したアセットマネジメント、工事全体のプロジェクトマネジメントの必要性が重視されるようになったためである。開始された当初、CIM の M 部分は Modeling のみであった。しかし、試行過程のデータに基づき、マネジメントが重要であるとの見方が広がった。その気付きと定義の変化に合わせて、現在は Management も加えられている。

また、令和元年年 9 月に建設工事公衆災害防止対策要綱を「土木工事を施工しようとするときは（中略）試掘等を行い、その埋設物の種類、位置（平面・深さ）、規格、構造等を原則として目視により確認しなければならない。ただし、（中略）学会その他で技術的に認められた方法及び基準に基づく探査によって確認できた場合はこの限りではない。」と改正した。これにより、一定基準を満たす探査方法（3D 探査）により地下埋設物を確認した場合

は、試掘等による確認の代替になることが認められた。

2-2 都の動向

令和2年11月に「都政の構造改革レポート ver.0～都政のQOS向上のために～」が示され、当該レポートの中で、構造改革全体を先導する七つのコア・プロジェクトを掲げ、その中でDX推進体制の構築を行うなどICT人材の確保に努め、職員のICT能力の向上を図っていくこととした。

また建設局では、令和2年7月に「東京都建設局 ICT 活用工事等推進連絡会」を設置した。同局では、①建設局発注の工事や調査等において、ウイズコロナ社会における生産性の向上や業務改善（DX）、工事の品質確保の実現に有効であるICTが、着実に活用普及されるよう環境整備を図る。②建設局や国土交通省、建設業の各種団体等との意見交換及び情報共有を通じ、東京の特性を踏まえICTの活用に向けた課題等を整理し、対応する施策を展開する。③技術革新等に合わせ、ICTに関係する職員等の知識取得や対応能力の向上を図ることを設置目的とし、ICT技術を調査・測量、設計、施工、検査、維持管理に活用することを目指している。この取組の一環として、令和2年11月に発注者向け講習会を開催し、講習内容としてICT活用工事基礎、衛星観測、2次元計測、ICT機械施工、実地検査解説、3次元設計データと点群処理を行い職員の知識取得や対応能力の向上を図っている。さらに、ICT施工を促進するための課題を把握するため、発注者・施工業者等に対しアンケートやヒアリング調査を実施し、課題の把握促進に努め促進策を検討し、ICT技術の活用に向け取り組んでいる。

2-3 職場の課題

都市整備局では設計業務や工事監督業務を少数精鋭の職員により行っている。

設計担当者は、関係部署との調整、コンサル等への指導・監督、設計・積算業務などを行っているが、図面は二次元のため現場での完成イメージが湧きにくく、経験不足な技術者などは、十分に現場や状況を把握できないまま業務を進める場合がある。また、地下埋設物の設計においては、既存の埋設物台帳や過去のしゅん功図等を踏まえて設計することが多く、設計内容と現場とのかい離から現場での設計変更は必須となっている。

一方、工事担当者は、関係部署との調整、工事業者への指導・監督、現場での立会い、設計変更業務などを行っているが、前述したように地下の既設構造物の位置が設計図面と異なることが多いため、施工前に試掘を繰り返し、現場着手までに時間と経費を費やすことになる。さらに、埋設位置が異なることによる工法変更や工程の見直し、関係者との再調整などが必要とされ、担当者の事務負担も大きい。

また、試掘による埋設物の位置の把握は点でのデータのため、工事区間全ての埋設管の位置や台帳に記載のない埋設物の存在を十分に把握できず、現場作業中に既存の埋設管を切断するなどの事故を起こす場合もある。

このことから、道路整備及び管理者、工事業者の負担軽減、業務効率化、費用削減、安全性の向上を想定して、地下探査調査企業と覚書を締結し、共同研究による地上・地下3D化の試行を行った。

3 道路空間（地上・地下）3D化の試行目的

前項で述べたとおり、道路空間の3D化により、道路の調査、設計、工事、管理などに関わる機関や沿道宅地利用者が正確な情報を共有化することで、業務遂行の安全かつ効率化が推進される。さらに、しゅん功後、水道や下水道などの引込工事などの計画が立てやすくなるなど、沿道住民の埋設物利用の利便性向上を図ることにつながる。

今回の試行を通じて、イメージしにくい施工中と完成時の地上・地下構造物の位置関係を可視化し、3D化技術利用の問題点を把握し、解決策を考察する。

4 実験フィールド

当事務所が現在整備中である補助第83号線を実験フィールドとして用いた（図1）。

事業名：東京都市計画道路事業補助街路第83号線

場所：十条地区 北区中十条一丁目地内から同区中十条三丁目地内

延長：I期 640m

II期 410m 計 1,050m

計画幅員：20m～30m（現道：約7m）

調査区間：I期 640mのうち **100m区間**

既存埋設：水道管、下水道管、ガス管、NTT



図1 実験フィールド

5 試行内容

現地計測

【地下インフラマッピング調査】

①測線設定

調査対象区間を、現地の状況（連続性、交通状況等）により、複数のブロックに分割し、ブロックごとにデータを取得する測線の位置を設定する。

・縦断方向データの測線位置

縦断方向データの測線位置は、面的にレーダデータを取得できるように、ハンディ型多配列地中レーダの探査幅 60cm と道路幅員を勘案して設定する。

・横断方向データの測線位置

縦断方向のレーダデータを補足するために取得する。

横断方向の測線位置は、縦断方向に 5m 間隔を基本に設定する。あらかじめ埋設物が多いことが分かっており詳細な解析を要する区間や、幅員が狭いため縦断多配列データが取得できない区間等での間隔は密に設定する。



①測線設定状況

②データ取得

(ハンディ型多配列地中レーダ・縦断方向)


設定した測線に沿って、ハンディ型多配列地中レーダを用いて、縦断方向に面的なデータを取得し、記録する。

ハンディ型多配列地中レーダの概要を示す（表 1）。



②データ取得状況

表 1 ハンディ型多配列地中レーダの概要

項目	仕様
使用機材 及び 探査性能	<ul style="list-style-type: none"> ・機 材 名：スケルカート U450 ・中心周波数：450MHz ・探 査 幅：0.6m（1度に8測線データを取得） ・探 査 深 度：1.5m程度（舗装・土質条件による） ・探 査 速 度：5km/h（最大） ・データ取得間隔：縦断 10mm ピッチ～・横断 80mm ピッチ 

【地上三次元レーザー計測】

①移動計測

移動取得計画に基づき、道路周辺の対象物にレーザーを照射して、距離と角度情報を取得し、三次元座標（XYZ）を取得する（表2）。

表2 MMS（地上三次元レーザー計測）の概要

項目	仕様
使用機材 及び 探査性能	<ul style="list-style-type: none"> モデル名：MMS-G220ZL 計測速度：40km/h程度 レーザークラス：レーザークラス1  <ul style="list-style-type: none"> GNSSアンテナ 3台 カメラ 前方2台 全方位カメラ 1台 レーザスキャナ 3台 


②調整点測量

計測により取得した各種データと現地との整合を図るため、路面表示や構造物の位置座標を近傍に設置した基準点等から位置及び標高を求める。また、高い標高精度を必要とする場合には、別途水準測量を実施する（表3）。



②調整点測量状況

表3 TS（地上三次元レーザー計測）の概要

項目	仕様
使用機材 及び 探査性能	<ul style="list-style-type: none"> モデル名：TOPCON GT-503 (国土地理院 測量機種登録 2級Aトータルステーション) 測距可能範囲：0.3～6,000m(気象条件良好時) 測距精度：(1+2ppm×D) mm 測距最小表示：0.0001/0.001m (トラッキング測定) 測角精度：3" 測角最小表示：1" / 5" レーザークラス：レーザークラス1 

6 システムの概要

地下インフラマッピング調査で使用する埋設管マッピングシステムは、電磁波による多配列地中レーダを用いて対象範囲を面的にデータ取得・結合し、管種を問わず地下埋設物位置を3次元で捉えられるものである。

システムの概要を示す（図2）。

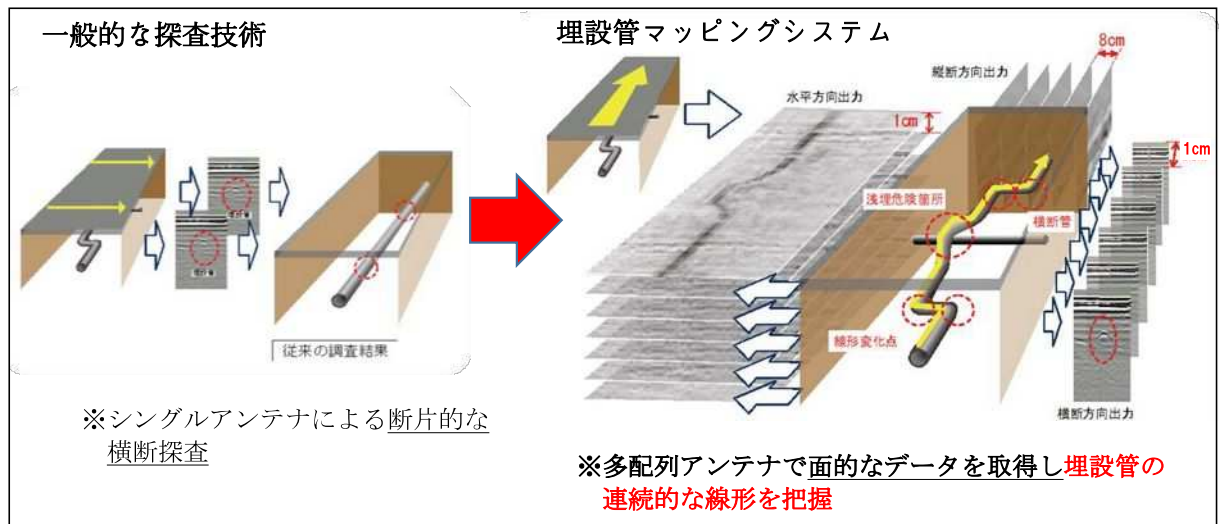


図2 システム概要

解析専用ソフトを用いて、取得した複数のデータを結合し、3次元（平面・縦断・横断）で解析を行うことで、3次元で埋設管の連続的な線形を捉えられるため、埋設管の線形変化点（平面・深度）や上越し・下越し・離隔等を明確にし、埋設状況を把握することが可能である（図3）。

また、地中レーダの解析は、異なる物性の境界から受信した反射波の強度、波形、伝播速度などのデータを解析ソフトに表示させるため、埋設管の材質を問わず検知でき、台帳に未記載の残置管や不明管等の検出も可能である。

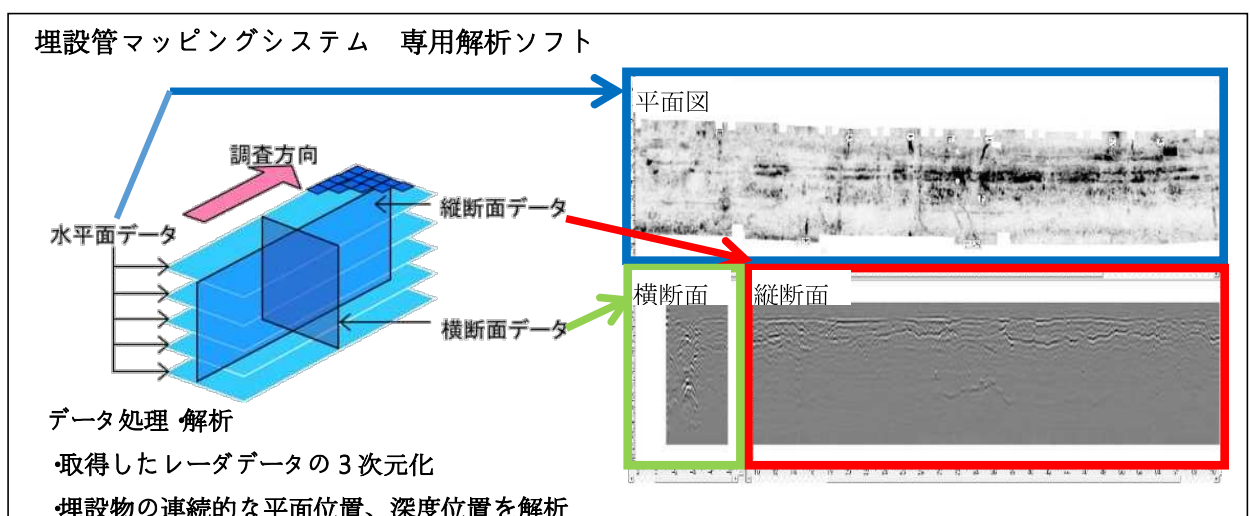


図3 システムの専用解析ソフト

埋設管マッピングシステムは、電磁波地中レーダ技術を用いた非破壊調査で、地中に電磁波を照射し、異なる物性の境界からの反射波を受信して埋設管等の埋設位置を調査するものである。

地中レーダは、舗装条件・路面条件等によりデータ解像度に影響を受け、探査精度が低下する場合がある。

また、小口径（φ50mm以下）の埋設物や急激な落込み部（引込管等）、輻輳箇所下部等などの原因で埋設管の検知が困難な場合がある。

本システムは、対象区間を面的にかつ連続的にデータの取得を行なうため、一部の区間の検知精度が低下しても周辺部のデータから管の連続性等を推定することが可能となる。さらに、現地にて地表物の種類や位置、占用台帳等の既存資料などから調査結果を補完することで、埋設位置を精度よく探査するシステムである。

探査性能をとりまとめた（表4）。

表4 埋設管マッピングシステム探査性能

項目	主なスペック	
使用機器等	ハンディ型多配列地中レーダ、ハンディ型地中レーダ、解析専用ソフト	
探査能力	深度限界	1.0～1.5m 諸条件により異なる
	検知可能な材質	金属系、コンクリート系、プラスチック系、その他 ※φ50mm以下の小口径の埋設物については土質条件等から検知できない場合あり
	探査精度(誤差)	水平位置：±10cm程度 埋設深さ：深度1m以浅：±10cm程度 深度1m以深：±10%程度 ※上記精度はテストフィールドでの結果
	※埋設管の管径、形状、占用者等の特定は、試掘結果及び既存資料から行う ※目視にて実際に確認可能な下水において、「下水人孔目視調査」を行い、埋設位置（深さ）を確認し、キャリブレーションすることで、精度向上に努める。 ※探査精度については、113箇所の試掘箇所を確認された208物件の埋設物の精度検証結果による（平均誤差 水平8.9cm, 深度8.2cm）。 （平成20度近畿地方整備局研究発表会 論文集「電線共同溝事業における埋設物非破壊探査の試行と使用効果の検証について」）	
作業能力	現地調査	500～1,000 m ² /日 程度
	データ処理・解析	100～200 m ² /日 程度

7 地上・地下 3D マップイメージ

7-1 地上・地下 3D マップイメージ

地上三次元レーザーを用いて取得したデータを3次元化したもの（図4）。

地中レーダーを用いて取得したデータを解析して地下埋設物等を3次元化したもの（図5）。



図4 地上 3D マップイメージ

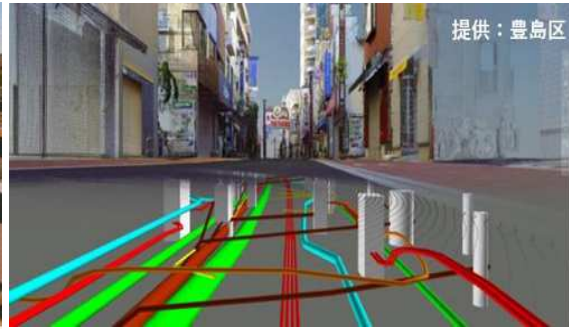


図5 地下 3D マップイメージ

7-3 地上・地下 3D の活用イメージ

地下埋設物 3D マップを用いた 3D 設計、3D 設計を用いた現場作業支援、3D 計測による施工管理を目標としている（図6）。



※ 今回の共同研究の範囲

図6 地上・地下 3D の活用イメージ

7-4 地上・地下 3D を活用した安全性・生産性向上のイメージ

地上・地下 3D マップによるデータを用いることで、地上では架線類、地下では既設管類にバリアデータをかけ ICT 施工を行うことで、現場の安全性の向上を図り、生産性の向上を目指している（図7）。



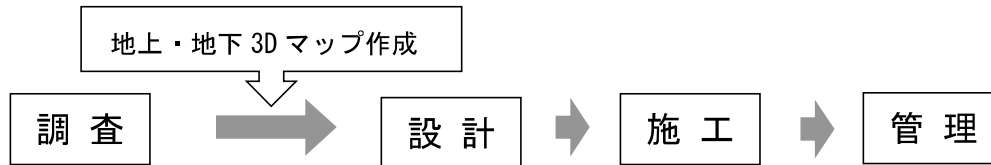
図7 地上・地下 3D を活用した安全性・生産性向上のイメージ

8 道路整備における地上・地下 3D 化技術活用に向けた考察

(1) 地上・地下 3D の技術の活用の想定

道路整備、管理における業務の各段階での 3D 技術の活用を想定

(道路整備から管理への手順)



①調査段階・・・現状の地下構造物と道路等の地上構造物の 3D マップの作成

地上部は、車輛や地上機器を利用して、三次元レーザー計測を行うとともに、地下部は電磁波による地中レーダを用いて埋設管等の位置を把握して地上・地下 3D マップを作成

②設計段階・・・調査段階で作成した 3D マップを活用した設計

新たに布設する埋設物の占用位置の検討、横断管占用位置の検討、施工方法の検討、3D 図面による設計図書の作成 など

③施工段階・・・3D 設計図を活用した現場作業支援及び 3D 計測による施工管理

ウェアブルカメラを活用して、工事の現況画像上に 3D 設計図を AR 表示して新設する埋設管の施工状況を確認。現場と事務所で 3D 設計図を共用して設計変更等の調整、工事しゅん功後に 3D での台帳作成 など

④管理段階・・・地上・地下 3D 台帳による維持管理

3D データによる補修工事の計画、新たな埋設管の占用位置検討、宅内へのインフラ引込工事への活用 など

(2) 課題

①調査費用

約 4,500 円/m² (※現地計測、解析、3D データ作成まで) ※メーカーヒアリング

十条地区電線共同溝設置工事で概算比較 (施工延長約 640m)

・ 試掘の場合 (実績)

140 万円 (25 箇所)

・ 3D マップ作成の場合 (想定される掘削幅で想定)

1,152 万円 (640m × 幅 1.8m × 4,500 円)

②調査期間

1,000 m²当たり 1 か月程度（※データ処理・解析には地下探査の熟練技術者の判断が必要） ※メーカーヒアリング

十条地区電線共同溝設置工事で概算比較（施工延長約 640m）

・ 試掘の場合（実績）

25 箇所（9 日間）

・ 3D マップ作成の場合（想定される掘削幅で想定）

2 日間（640m×幅 1.8m÷1,000 m²/日）

※現場調査にかかる日数は 2 日

③調査精度

水平位置±10 cm、深度 1 m 以浅±10 cm、1 m 以深±10%の誤差が生じる

④探査範囲

調査深度は、深さ 1.0～1.5 程度（諸条件により異なる）であるとともに、φ50mm 以下の埋設物については検知出来ない可能性がある

⑤その他の課題

発注者、受注者、管理者共に、設計や工事、管理において 3D マップを活用するための知識やスキルを持った人材の育成や 3D マップを活用するための環境整備

9 まとめ

道路行政への地上・地下 3D 技術の採用には、各段階において事務の効率化や施工の安全性向上など大いに期待される場所である。しかし、8 の②で記載したとおり、費用や精度など、解決すべき大きな課題がある。関係者へのヒアリングの結果、道路の整備、管理においてこの技術が普通に採用されるためには、調査精度や探査範囲など今後、さらなる技術革新が進むとともに、調査価格の低減、人材育成等を図る必要があると思われる。そのためにも、実際に現場で試験的に採用し、実務における課題を抽出し、関係者に働きかけていくことは必用不可欠である。

今回、第二市街地整備事務所で行う、道路整備における地上・地下 3D 化の試行については、非破壊検査による地下埋設物と地上の 3D マップの作成である。試行は現在、10 月に現地計測したデータを処理・解析し 3D 図面及び画像の作成を行っている。この成果を基に、今後、現場で着手予定の電線共同溝の施工時に試行として活用していく事を予定している。当事務所では今後予定している試行を踏まえて、来年度、道路の計画、設計、工事、維持管理等への DX 導入の優位性や問題点等を検証し今後の活用方法を検討していくこととしている。

最後に、今回の成果を行政機関や関係企業等に対し広く働きかけることが、将来的に都民の利益に繋がることと信じ、試行を進めていく。

※ 一部資料提供：地下探査調査企業