

今こそ求められる**減災対策**

# 都市の危機管理における 路面下空洞対策

オールジャパンで  
国土強靱化を

レジリエンスジャパン  
推進協議会

定員200名様

平成29年 **10/26** 木

開催日時 13:00~16:30(12:30受付開始)

開催場所 鉄鋼会館  
〒103-0025東京都中央区茅場町3-2-10

## 講演②「路面下空洞生成のメカニズムと地盤陥没対策」

桑野 玲子 氏

東京大学生産技術研究所教授

「都市の危機管理における路面下空洞対策戦略会議」議長代理



### ご挨拶

皆様、こんにちは。東京大学の桑野と申します。今日は、地盤陥没を引き起こす路面下の空洞がどういうわけができるか、そしてどういうプロセスを経て陥没に至るかということをご紹介したいと思います。そして、それに対してどういう対策をとればいいのかということもあわせてお話ししたいと思います。

皆様ご存じのように、今も、国内でも、それから国外でも、地盤陥没、道路陥没は頻発しております。地震の後にも路面下の空洞が陥没として顕在化することがあります。

ワーキンググループでは、1988年に道路陥没問題が顕在化してからの経緯をまとめています。地盤陥没はまるで突然起こるかのように見えますが、当然ながら、陥没の芽となる空洞は突然発生しているわけではありません。何らかの原因によって空洞ができて、それが地表面まで到達し、そして地表の崩落という形で陥没となって現れるわけです。

### 路面下空洞の原因

では、どうい原因でこの空洞がもともとできるのか。自然にできるものもあれば、先ほどの福岡の例でありましたようにトンネル工事に起因するものとか、いろいろあるわけですが、都市で起こる道路陥没は、地下の利用が高度化して、地下埋設物が輻輳化し、インフラが老朽化してというような、埋設物起因の空洞や陥没が主体となってきています。

都市の危機管理における路面下空洞対策 平成29年10月26日

都市の道路路面陥没はさまざまな原因で起こるわけですが、道路の地下埋設物に起因する陥没の件数かなりのウエートを占めていることがわかります。

特に下水管に起因する道路陥没件数は、平成27年でも1日平均約10件で、もう3000件を超える勢いです。やはり都市の埋設インフラの老朽化とはかなり密接な関係があると言えます。

下水管の経過年数と道路陥没の発生頻度の関係を見ても、道路陥没数と下水管の経過年数との相関が見てとれます。30年を超えると急激に陥没数が増えています。

どうい下水管の破損状況で道路陥没を引き起こすか。下水管が腐食して大きく破損しているときは当然ながら上の道路も陥没するであろうというのは皆さんご想像のとおりですが、実はわずかなクラックでも陥没を引き起こします。特に取付管と本管との接合部が空洞化を起こしやすいといったこともありますので、わずかな破損だからといって侮れないといった事実もあります。

それから、陥没発生件数が多いのは、夏季の降雨時・降雨後ということがあります。

道路の下に空洞があって、それが舗装のすぐ下まで迫っているような場合でも、もしかすると私たちは「知らぬが仏」状態で上を歩いているかもしれません。実際に陥没を引き起

こす空洞の数が、見つかった空洞の数に対してどれぐらいの割合であるかというのはまだよくわかりませんが、陥没として顕在化している空洞よりもはるかに多い数の空洞が路面の下には成長している途上であると言えます。

「そこで道路の陥没を未然に防ぐためには、路面下の空洞探査をしなければなりませんし、さらに、どうしてこのような路面下の空洞ができて、それがどのように拡大・進展して陥没に至るのかというメカニズムの研究も必要になってきます。

既に、自治体あるいは国では、空洞探査がやられています。車載型の地中レーダー探査装置を使って、道路の上を走りながら地面の下の空洞を非破壊で探査する技術がもう既に実用化されています。この非破壊検査では、空洞の上側の大きさと深さがわかります。どのぐらいの大きさの空洞がわかるかという、1.5メートルよりも浅いところで、0.5メートル四方以上の広がり空洞を探査できます。

異常な怪しい箇所を見つけたら次に行うのが二次調査で、さらに詳しく、異常の種類や空洞の広がり判定します。そして実際にスコープを入れて、そこに本当に空洞があるか確認し、空洞の厚さを調べるといったことが実際に行われています。ですから非破壊の調査の品質というものは極めて重要になってきます。」

## 空洞の発生要因

路面下の空洞の探査で見つかった空洞の実態について、国・道・府・県管理のものと、それから例えば東京 23 区では、いわゆる空洞の発生頻度が大きく違っています。東京 23 区では地下埋設物も多く、そういう地下埋設物起因の空洞も多いといった事情も多分あると思います。典型的な路面下空洞の諸元としては、深度 0.3 から 0.6 メートル、厚さ 0.6 メートル未満が約半数といった実態となっています。

2012 年度から 2016 年度の国道の路面下空洞の発生状況を、地方整備局ごとに比較すると、車道と歩道、それから地域ごとに空洞発生の頻度が大きく異なることが見てとれます。さらに、どういったところに空洞が多く発生するかをまた詳しく調べていくわけですが、ざっと見ていただいても、このように地域性もあるということが見てとれます。

東京都の 2001 年度から 2009 年度までの空洞調査で確認された空洞の発生要因は、下水道起因 28%、埋め

戻し不良 32%、地下埋設物輻輳 14%というレポートがあります。発生要因が何であるかを一つに特定するのは難しい話ではありますが、やはり都市においては地下埋設物起因の空洞が多くを占めているということがわかります。」

## 空洞の拡大要因

「空洞の拡大要因として最も支配的なものは、間違いなく雨や地下水だと思います。路面陥没事故の月別発生件数をまとめてみると、やはり 6 月、7 月、8 月の雨の多い時期に陥没件数が多くなっています。

もう一つの拡大要因が地震です。新潟県の中越地震前後のデータによれば、平常時の空洞頻度で、1 キロ当たり約 0.5 個というような場所が、震度 5 を超えたところで 2 倍から 8 倍多く発生するというように、有意に空洞頻度が上がるといった結果があります。

このように、路面下空洞の生成の主な原因は埋設インフラの老朽化による吸い出しといわれるものだと思います。ただし、顕著な空洞を伴わないまま路面陥没に至る場合もどうもそれなりにあるようです。国土交通省のまとめた陥没のデータでも、約 4 分の 1 程度は原因不明に分類されています。

ここでちょっと動画を見ていただきたいと思います。土層の一番下の部分に 0.5 ミリのいわゆる開口部をあけて、そこから土と水が出ていくということで空洞の再現をしているものです。水が上がっていくと空洞が広がるといった傾向がこれで見ただけだと思います。さらに水が上がっていくと、土砂が引きずられて、空洞の大きさが拡大して、横方向にも広がっていくのが見てとれます。

そして、地表面はかなり最後の局面に至るまで大きな変化はありません。これだけ大きな穴が下にあいていても、舗装が載っていればそれなりに耐えてしまいます。私たちは今これを横から見ているから、こんなことがあったらと思ってぞっとするわけですが、実際は、上からだと気づきにくい。であるからこそ、やはり事前の調査が重要になってくるわけです。

今の土層実験は下に 5 ミリしか穴があいていません。けれども、約 30 センチの土層の幅いっぱいほとんど穴が広がるということで、流出するすき間が小さくても継続的に土砂が流出していくことによって、空洞は非常に大きく広がってしまうこと、それから、地表面に変状が現れるは末期的状況

になってからであるということが言えます。

このほかにも、空洞の生成・拡大の過程で一番の鍵となるのは水位の上下です。水位の上下、または高い地下水位は、空洞拡大の主な要因になり得ることが研究の結果明らかになっています。

また、地中構造物の躯体脇はやはり水みちができやすく、空洞や緩みが発達しやすいということも大体わかっています。躯体模型を入れた土槽実験では、躯体の横に大きな空洞が発生して、ここに地震が来ると、崩落してしまうのは当然の理と言えるかと思えます。ですので、陥没する前に充填、あるいは何らかの補修をしなければいけないということになります。

### 訴因と誘因

空洞生成や拡大の要因を実験や調査を通していろいろと調べてまいりました。要因といっても、素因と誘因の二つに大きく整理できると思えます。素因とは、空洞ができやすいような素質です。例えば地中埋設物が輻輳していること、それから流出しやすいような土の条件であること、あるいは地質や地形や高い地下水位、もしくは掘削工事履歴などももしかしたら弱点になり得る素質になってしまうかもしれません。

そういう素因に対して、誘因としては、地中埋設インフラが実際に壊れて破損する、あるいは雨が降る、あるいは地震で揺られるといったようなことがあります。最後に土砂の流出経路が確保されると、空洞の生成や拡大が加速化することになります。

空洞といっても、周りに緩みを伴ったり、不明瞭な形で空洞が存在したりすることも多いです。その場合には地表近くの空隙を塞ぐだけでは不十分で、やはり土砂流出の源まで成因をきちんと確認して対策をすることが必要になります。緊急事態の際には原因を究明している場合ではないということもあると先ほど高島市長がおっしゃっていましたが、緊急事態の際の「応急復旧」と併せて、しっかり原因究明をして「抜本的な対策」をする、これらをきちんと組み合わせることが大切になってくるかと思えます。

探査技術が上がってくると、いろいろな空洞が見つかるようになります。危険な空洞を見落とすのは言語道断ですが、小さい空洞も見つかる、あるいは深い空洞も見つかる

かもしれません。そこで道路陥没を引き起こすような本当に危険な空洞とは何かという危険度の評価をきちんとやっていかななくてはならないと思います。

### 空洞の陥没危険度

空洞の陥没危険度を考える上で、二つの観点があると思います。一つは、現時点で道路構造の安定性に対してその空洞がどう影響を与えるか。つまり現時点での危険度です。もう一つは、今は大丈夫かもしれませんが、その空洞があつという間に成長して近い将来危険度が増すこともあります。近い将来の可能性はどうかということで、空洞の成長速度のようなものもきちんと評価していかななくてはならないと思います。

この戦略会議で今回対象にしている地震時、災害時の空洞の危険度のことですが、これもワーキンググループでいろいろ調べてみたら、やはり地震時に陥没危険度が上がることが確認できました。一つは、地震の後には路面下の空洞が増加するという事です。熊本地震、あるいは中越地震、東日本大震災のデータをよく調べてみますと、路面下の空洞数が約2倍から8倍にふえます。それから、空洞の多発区間が発生する傾向があつて、総数も増えます。

いつ陥没してもおかしくないような陥没危険度ランクAの空洞の割合は、平常時には18%だったものが、例えば熊本地震の後の調査では60%にもなっており、地震の影響は非常に大きいと言わざるを得ないと思います。

### 空洞または陥没の対応

では、こういう空洞や陥没にはどういうふうに対応していけばいいのでしょうか。陥没してしまったら埋め戻すしかないかと思えます。ただし抜本的な対策のためには、原因を明らかにして、土砂の流出孔をきちんと塞ぐことが重要です。

では陥没する前の空洞の段階の場合はどうかということ、これも原則としては埋め戻す、または充填です。同じように原因を明らかにし、土砂の流出孔をきちんと塞ぐことが非常に重要です。そして、応急対策と恒久対策のメリハリをつけること。例えば陥没危険度が低い場合には、やみくもに埋めるのではなく、モニタリングによる経過観察も実務的にはあり得る話だと思います。

戦略会議のワーキングの中で、東京都大田区の方から

対策の効果についてご紹介がありました。東京都大田区では、平成 24 年から区道全長 770 キロを対象に、生活道路も含めて調査をして対策をした結果、陥没件数がこの 4 年間で顕著に減っています。

地震時においても、陥没危険度の高い A ランクの空洞が 18%から 60%に増えるといった事実を踏まえ、やはり事前にきちんと対策することによって、いつ落ちてもおかしくないような A ランク空洞を減らしていけるといった対策の効果が出ると思われま。

空洞を見つけて、埋めて、陥没を未然に防ぐ対策は、先進的な自治体さんでは定型業務としてとしてしっかりやっておられることだと思いますけれども、これからは、やはりより積極的な陥没対策として、できれば空洞をつくらない、できてしまったとしてもそれを拡大させない、そして再発させない対策が必要になります。そのためには、やはりきちんと素因と誘因を明らかにする。そして、地域特性も考慮しながら、都市の空洞や陥没のポテンシャルを評価して、地下空間の安全管理の戦略を立てることが必要かと思ひます。私自身も、実際に、福岡市と藤沢市と共同研究の形でいろ

ろお手伝いをさせていただいております。

## まとめ

最後にまとめますと、現状として、道路陥没問題はインフラの老朽化と不可分です。別にいい加減に工事・管理したから空洞ができるという問題ではありません。都市の急激な成長から約 20 年たったら問題が顕在化するの、国内でも国外でも起こっていることです。さらに最近の気象の激甚化によってゲリラ豪雨などもあるので、問題は加速化しています。

ですから対策として重要なのは、まず見つけて、未然に防止することです。探査技術の品質をきちんと確保して、信頼性の高いデータを得ることが不可欠です。さらに陥没の危険度を適切に評価して、その危険度に応じた補修工法を開発することが重要だと思います。どうもありがとうございました。