

## 13. 災害時における路面下空洞や道路陥没の発生状況調査について

### Investigation of Cavities beneath Roads and Caves during Earthquakes

技術支援課 迫間マキ、大石雅登、内山博文

#### 1. はじめに

都道のような交通量の多い幹線道路で道路陥没等の路面変状が発生すると、走行車両の転落や大規模な交通渋滞の発生など、社会的影響の大きい事故となる可能性が高い。このため東京都建設局では、道路陥没等を未然に防ぐため、過去に路面下空洞が発見されている道路や大型の地下構造物が埋設されている道路などを対象に、空洞調査を継続的に実施している。

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源地に最も近い政令指定都市であった仙台市の道路においても、多くの路面下空洞や道路陥没等の路面変状が発生した。災害時における道路陥没等の路面変状は、避難、救出活動、復旧活動などにおいて重大な障害となることが懸念される。今後、東京都でも同様の地震を経験する可能性が高いことから、被災地の貴重な情報を収集、分析しておくことは防災対策上からも重要である。

そこで今回、路面下空洞や道路陥没などを中心に道路本体の被災状況について、宮城県及び仙台市へヒアリング調査を行うとともに関連文献等の資料収集を実施した。

本報文では、ヒアリング調査の結果を中心に報告する。

#### 2. 都道の状況について

##### (1) 東北地方太平洋沖地震発生時の道路の被災状況

地震発生直後に東京都建設局が行った緊急点検の結果では、歩道での陥没や段差、車道舗装面の亀裂がそれぞれ数件ずつ確認されている。(水道管の漏水など占用物件の破損被害は除く)

また、湾岸部にある都道の一部で、歩道上に液状化現象によるものと思われる砂の堆積や段差が見つかっている。

なお、これらの被害については、速やかに応急対応等を行っており、重大被害にまでは至っていない。

##### (2) 東北地方太平洋沖地震発生以前の路面下空洞発生状況

東京都建設局では、路面下空洞を発見した場合、原則として開削による掘削調査を実施しており、空洞の状況を確認、発生要因などを調査した後、速やかに埋め戻し路面仮復旧を行っている。

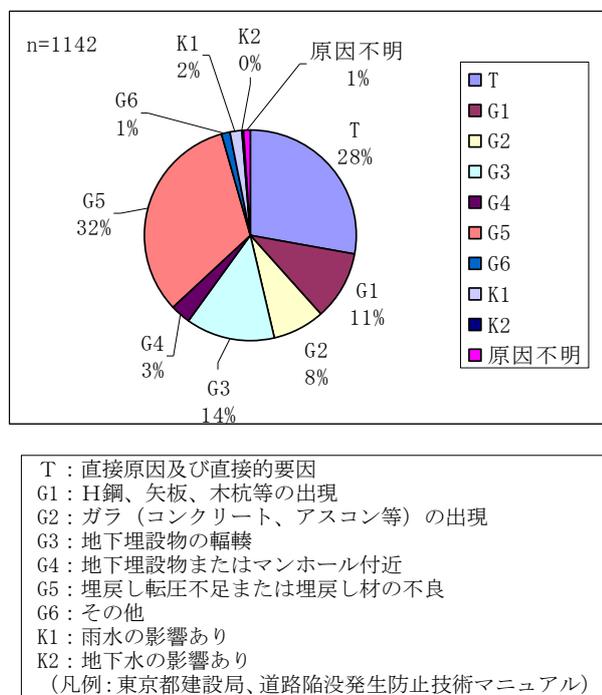
平成13年度から平成21年度までの9年間では、約千件の開削調査を実施している。図-1に空洞の発生要因別内訳を示す。

「直接原因及び直接的要因(T)」と「埋戻し転圧不足または埋戻し材の不良(G5)」がそれぞれ全体の約3割、合わせて約6割を占めていた。

「直接原因及び直接的要因(T)」のうち破損の

確認された埋設物の約6割が下水道、「埋戻し転圧不足または埋戻し材の不良（G5）」のうち約3割において深層部に地下鉄の構造物が占用していた。

なお、空洞発生要因等の詳細については、既報<sup>1)</sup>を参照されたい。



図－1 空洞発生要因別の割合

### 3. 被災地の道路状況について～宮城県・仙台市におけるヒアリング調査結果

ヒアリング調査は宮城県・仙台市とも平成25年3月18日に実施。調査員による面談方式で行ったが、回答には資料提供によるものもあった。

#### (1) 宮城県の管理道路

##### 1) 道路の被災状況

宮城県の管理道路は、市街から海岸・山間部までの多様な地域にあるが、地下の各種ライフラインが整備されている政令指定都市・仙台市にある県道は仙台市管理となっている。このため、宮城県の管理道路の地下埋設物は、下水道施設や道路横断排水施設が比較的多い。

道路の被災状況としては、埋設物のある箇所や残置された土留鋼矢板付近などでの路面変状の発生が顕著であった。

なお、地震発生後の春から夏にかけての時期

にも道路陥没等の路面変状が確認されていた。これは、この時期に地盤の凍結がなくなったこと、雪解け水や梅雨の影響を受けたことなどが原因となった可能性がある。

#### 2) 路面下空洞調査の実施状況

宮城県では、地震発生後の平成23年5月から平成24年1月までに、地中レーダ搭載の空洞探査車による路面下空洞調査<sup>2)</sup>を行っている。調査した道路の路線延長は約110km、調査延長約230kmであり、空洞と推測される異常信号を検出した箇所が約660箇所であった。

異常信号検出箇所を埋設物布設図等から調査したところ、当該箇所の約7割は下水道等施設の埋設箇所付近であった。また、約1割は道路横断排水施設の埋設箇所付近であった。これらの箇所については、一部で開削調査等が行われ、空洞とともに管きよ等の継手部のずれなどが確認されている。

今後の路面下空洞調査については、複数の車線がある場合は埋設物のある車線を中心に一車線に絞って調査路線を拡大していく方針で調査を継続する予定である。

なお、地震発生前においては、計画的な路面下空洞調査は実施されていなかった。

#### 3) 液状化ハザードマップと空洞発生分布

ヒアリング時に貸与された資料<sup>2)</sup>を基に、宮城県内における空洞発生箇所一覧図を作成し、更にこれを事前に収集した公開資料（液状化ハザードマップ・図－2）と重ね合わせてみた。

その結果、路面下空洞が多く発見された調査路線は、液状化危険度の高い地域に比較的多く存在している傾向が見受けられた。

なお、この液状化ハザードマップは地震発生前に作られたものであり、今回の地震で実際に液状化が発生した場所と全てが一致するものではない。

#### (2) 仙台市の管理道路

##### 1) 道路の被災状況

仙台市管理の道路の被災状況としては、下水道施設などの地下埋設物のある箇所でも多くの

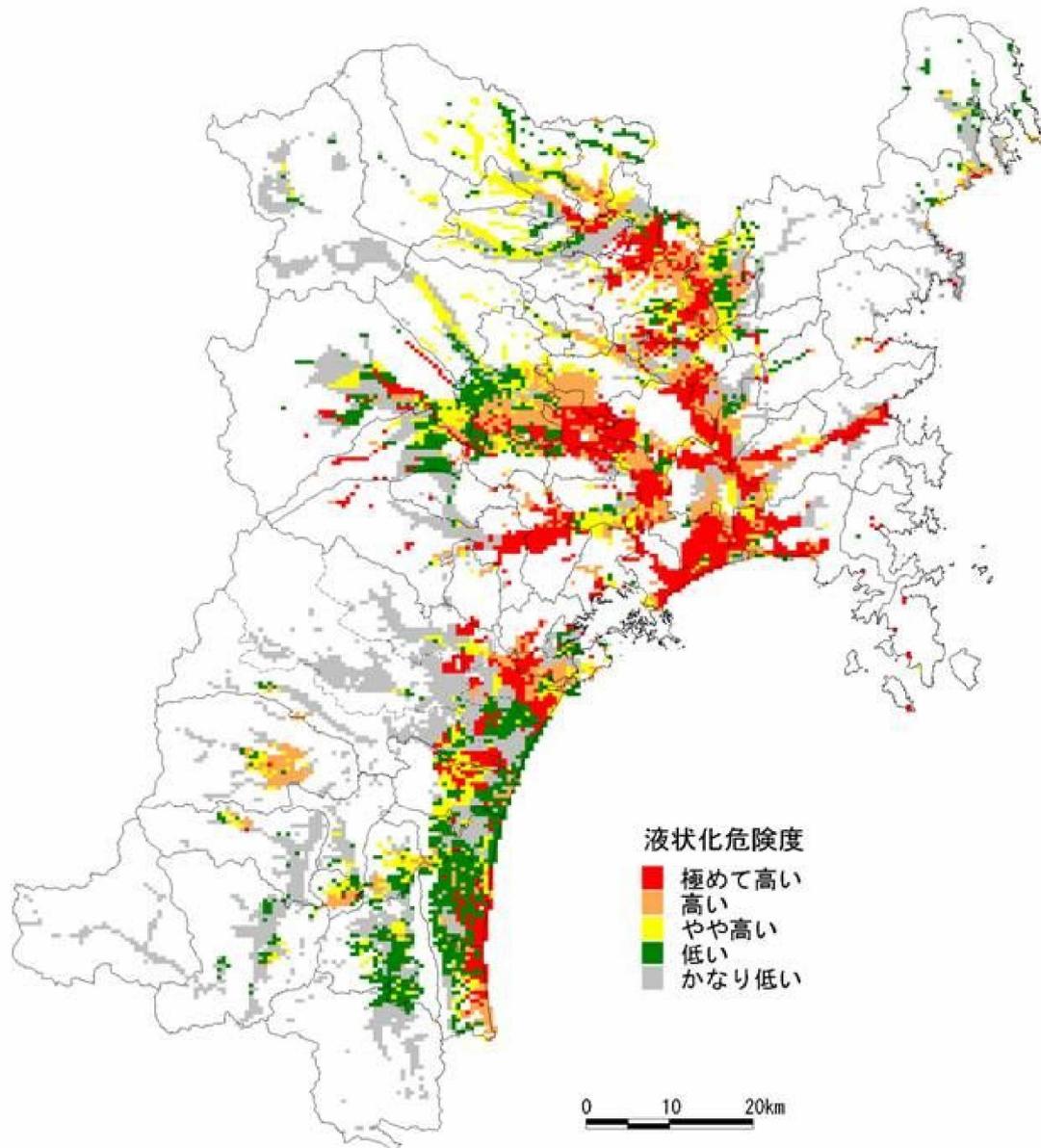


図-2 宮城県液状化危険度マップ（宮城県ホームページから引用）

路面変状が発生しており、地下鉄南北線長町駅周辺の開削工事箇所での大きな路面変状（広範囲に波打ったような路面沈下が発生）は特徴的なものであった。

なお、地下鉄開削工事箇所の路面変状は地震発生直後から見られたものであったが、下水道施設埋設箇所での路面変状については、ある程度の時間が経過してから発見されたものもあった。また、地震時に緩んだ地盤が、数ヶ月後の大雨の影響を受けて路面変状となって現れ

たものもあった。

## 2) 路面下空洞調査の実施状況

仙台市では、地震発生後の平成23年7月から平成24年3月までに、地中レーダ搭載の空洞探査車による路面下空洞調査<sup>3)</sup>を行っている。調査した道路の路線延長は約90km、測定延長約370kmであり、空洞と推測される異常信号を検出した箇所が約350箇所であった。このうち、約250箇所については詳細調査を行っており、約210箇所の空洞を実際に確認している。

これらの調査により、地下埋設物、特に下水道施設周辺で空洞が多く確認された。また、地下鉄の開削工事箇所付近では、路面変状とともに多くの空洞が確認されている。

なお、地震発生前においては、計画的な路面下空洞調査は、ほとんど実施されていなかった。

### 3) 液状化ハザードマップと空洞発生分布

ヒアリング時に貸与された資料<sup>3)</sup>を基に、仙台市内における空洞発生箇所一覧図を作成し、更にこれを事前に収集した公開資料（液状化ハザードマップ）と重ねた図を作成した。（図-3）

仙台市中心部に位置する仙台駅付近は、地盤が堅固で液状化危険度の低い地域であるにも

かかわらず、路面下空洞が多く発見されている。これは、仙台駅周辺が中心市街地で地下埋設物が多いことから、この埋設物の埋め戻しに起因しているものと考えられる。一方、仙台市南西部の海岸近くは液状化危険度の高い地域であるが、この周辺で実施された路面下空洞調査では空洞があまり発見されていない。これは、この海岸付近が市街地ではなく、道路に地下埋設物の少ないことが原因の一つと考えられる。

なお、液状化ハザードマップは地震発生前に作られたものであり、今回の地震で実際に液状化が発生した場所と全てが一致するものではない。

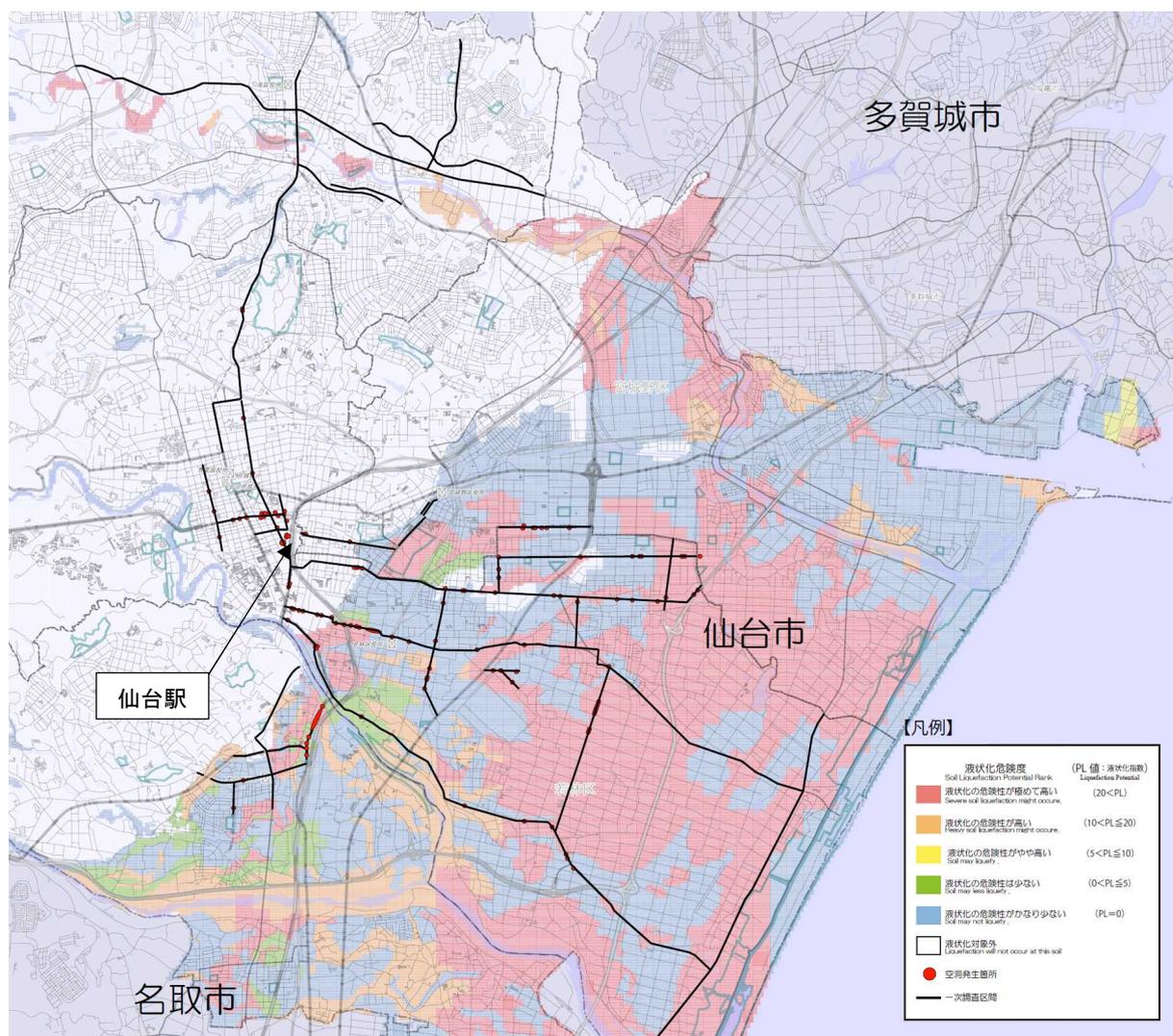


図-3 仙台市液状化危険度・空洞発生箇所調査路線重ね図

(仙台市ホームページと仙台市より貸与された路面下空洞調査報告書<sup>3)</sup>を元に作成)

(3) 地下鉄南北線長町駅周辺の路面変状について

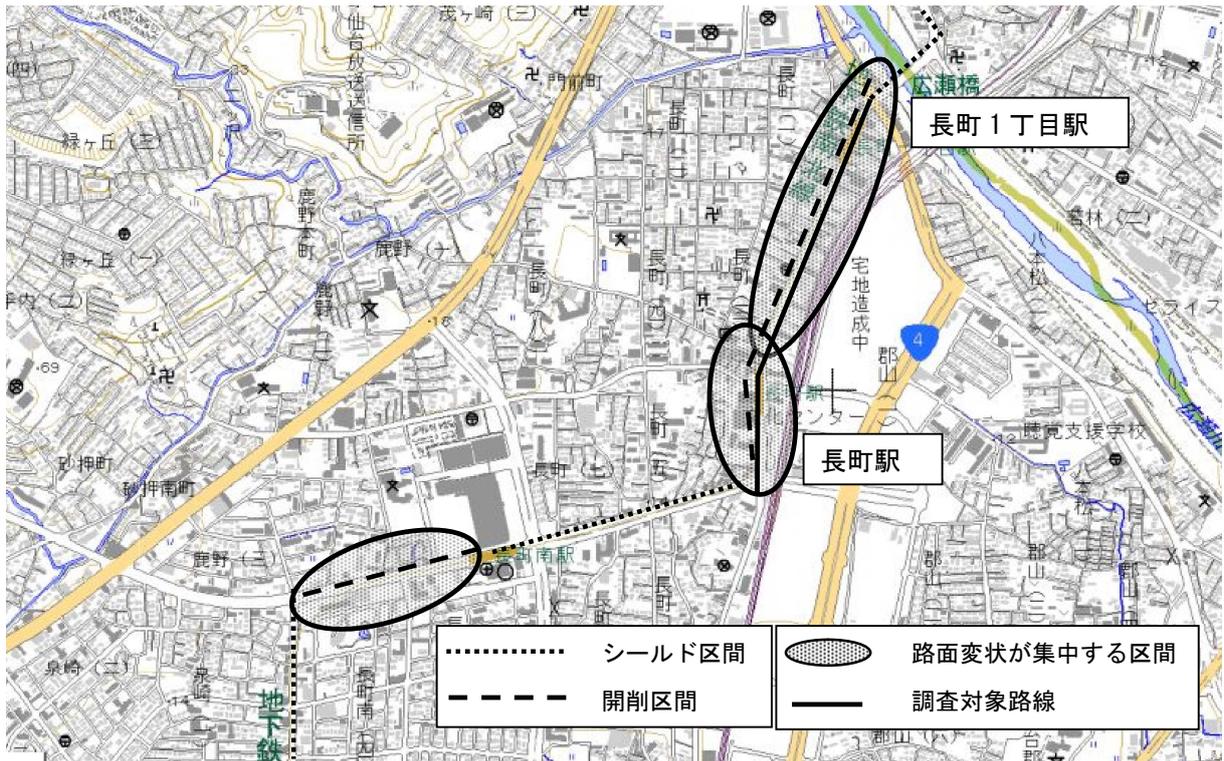
仙台市所管道路における、地下鉄南北線長町駅周辺の路面変状については、仙台市による調査と発生経緯の分析<sup>4)</sup>が行われており、以下にその概要を紹介する。

市道原町広岡線は、市街地の幹線道路で、調査箇所は1987年に開削工法で地下鉄が建設され

た区間である。近くには広瀬川が流れている。

地震発生後に実施された緊急点検の結果、次のような傾向が認められた。

路面変状と地下鉄構造物を重ね合わせると、図-4 からわかるように、シールドトンネル部以外の開削トンネル部（駅舎部、駅間トンネル部）で路面変状が顕著であった。この付近の標準的な道路横断面を図-5、図-6 に示す。



「この背景地図等データは、国土地理院の電子国土 Web システムから配信されたものである。」

図-4 長町駅周辺の路面変状発生箇所

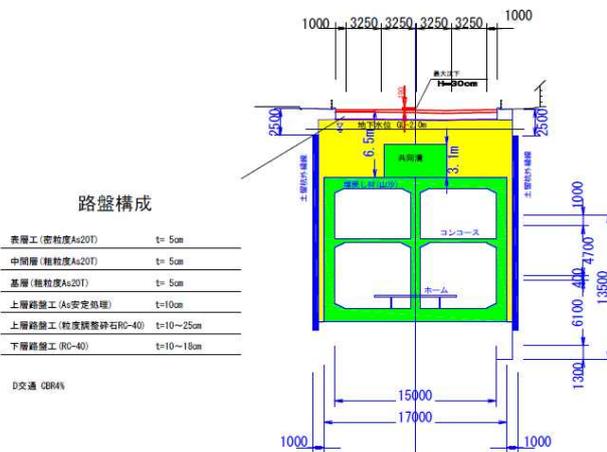


図-5 駅舎部の構造

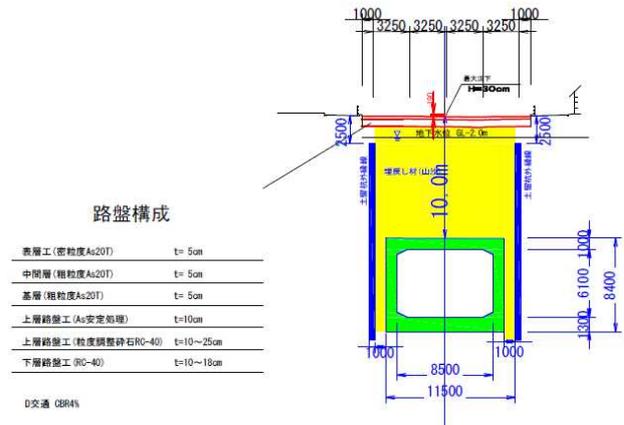


図-6 駅間トンネル部の構造

路面変状の形態は、主に舗装の沈下（0～30cm程度）であり、駅舎等の頂版上に点在して発生したものと、地中に残置されていた土留め杭（親杭横矢板、鋼矢板）に沿って線状に分布したものがあつた。

線状に分布したものの中には、舗装の下で鉛直方向に空洞が観察されたものがあつた。

この緊急点検の結果を受け、道路陥没までに至っていない路面下空洞の確認及び強度低下による「ゆるみ」の分布状況の把握を目的とした路面下空洞調査を平成23年12月から実施した。結果は以下のとおりである。

路面下空洞は、地下鉄駅舎（長町一丁目駅、長町駅）の躯体外縁部周辺や路面沈下量が大きい範囲に分布しており、空洞厚7cm～49cmの空洞が浅層部（GL-20cm～-60cm）に多く確認された。特に、上層路盤（アスファルト処理混合物）下の粒度調整碎石部分では、空洞が帯状に発生していることも確認された。

一部では開削調査（現場密度試験、簡易貫入試験等）も行われており、地震の影響によって下層路盤及び路床の締固め度合いがルーズになり、所定の支持力より低下してしまったことが確認された。

また、地下鉄構造物の埋戻しに使用された山砂の粒度分布などを調べたところ、液状化現象を招きやすい状態であつたことも確認された。

以上のことから、路面変状が発生した経緯について、仙台市では図-7のように推定している。

地震前は図中①に示す状態で、地震発生時に②埋戻した山砂が液状化したことにより、路床・路体の体積減少が発生（噴砂、圧縮、流入）、③路面下の浅層部（路盤等）で沈下及び空洞が発生し、路面変状に至つた。（初期変状）

更には、④深層部において、②③と同時にゆるみ領域が発生、時間経過に従い、ゆるみ領域が圧縮沈下（ゆるみ領域の上方移動）し、浅層部にまで達して路面変状に至つたものと推定。

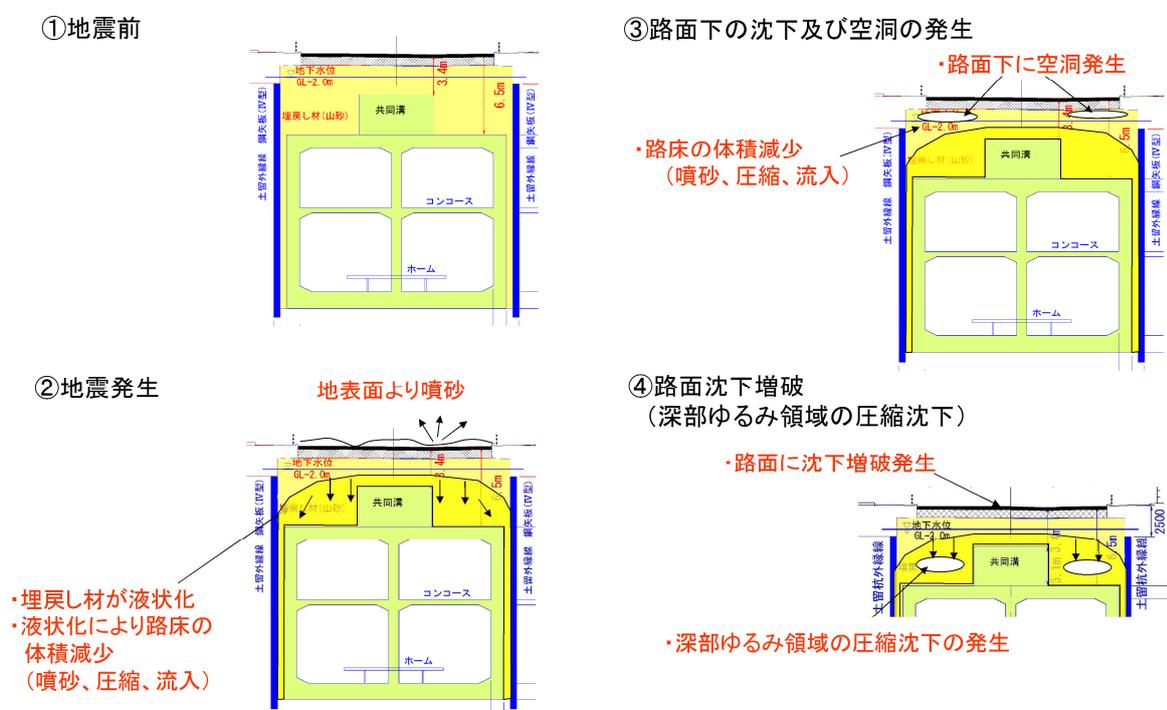


図-7 路面変状発生の際緯図

（図-5、6、7は貸与された路面下空洞調査報告書<sup>4)</sup>から引用）

#### 4. まとめ

今回、東北地方太平洋沖地震における道路本体の被災状況について、宮城県及び仙台市に対しヒアリング調査等を実施した。

仙台市以外の比較的小規模な市街から海岸・山間部までを抱える宮城県では、管理道路にある地下埋設物の多くが下水道施設及び道路横断排水施設であり、地震後に発生した路面変状もこれに起因したものが多かった。

仙台市では、中心市街地から山間部にかけての地域は地盤が良好であり、主な被害箇所は、切土・盛土された造成地や地下埋設物の埋戻し箇所などの、人の手が加えられた部分であった。

路面下空洞や道路陥没に関しては、残念ながら東北地方太平洋沖地震発生前には路面下空洞調査がほとんど行われていなかったため、地震前後での空洞発生状況等の比較はできなかったが、地震後の空洞の発生要因の傾向については把握することができた。

宮城県では、地中レーダによる空洞探査で異常信号を検出した箇所の約7割が下水道施設等の地下埋設物周辺であった。

仙台市においては、地下鉄南北線の開削工事箇所付近で、大規模な路面変状を伴った路面下空洞が発生していた。

一方、東京都の場合、これまでに行ってきた平常時での路面下空洞調査の結果から明らか

になっている主な空洞発生要因は、下水道管等の埋設物を直接原因とするものが約3割、地盤にゆるみ（ゆるみの原因は未判明）があった箇所で深層部に地下鉄構造物等が占有していたものが約3割であった。

割合は違うが東京都における主な路面下空洞発生要因は、宮城県及び仙台市での空洞発生要因を包含するものである。

以上のことから、道路陥没の予防保全として平常時から継続して路面下空洞調査とその後の補修作業等を実施しておくことは、地震時における道路陥没等の路面変状の発生抑制にも有効ではないかと考える。

なお、地震発生時の液状化による道路本体の被害としては、地下埋設物の埋戻土の液状化に伴う埋設物の浮き上がりや路面下空洞の発生などが考えられるが、今回のヒアリング調査だけでは十分な分析ができなかった。

今後は、調査範囲を他の被災地域にも広げるなど、より多くの情報を収集・分析し、地震発生前後での路面下空洞の発生状況の違いなどについても調査する必要があると考えている。

#### 謝辞

最後に、ヒアリング調査等にご協力いただいた宮城県及び仙台市の関係各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 内山博文、大石雅登(2012):路面下空洞の開削状況調査結果、平 24. 都土木技術支援・人材育成センター年報、227-232
- 2) 宮城県(2012):宮城県各土木事務所路面下空洞調査報告書
- 3) 仙台市(2012):東北地方太平洋沖地震に伴う路面下空洞調査報告書
- 4) 仙台市(2012):(市)原町広岡(その2)線 路面下空洞調査報告書

