

東日本大震災に伴う仙台地区 地下空間調査報告

THE INVESTIGATION REPORT OF UNDERGROUND SPACE IN SENDAI BY EAST JAPAN GREAT EARTHQUAKE

酒井 喜市郎^{1*}・堀地 紀行²・築瀬 範彦³・岩波 基⁴・西田 幸夫⁵
・宮沢 一雄⁶・粕谷 太郎⁷

Caused by East Japan great earthquake and the huge tsunami which occurred after earthquake, much damage occurred centering on the Pacific coast of East Japan. The Committee on Underground Space on JSCE organized an investigation team to analyze the damage centering on underground space. After hearing in Sendai City Office, field survey was conducted centering at the subway of Sendai on 24 and 25 October 2011. The present report indicates the results of this survey.

Key Words : east Japan great earthquake, seismic damage, commuter unable to return home, underground damage survey

1. 調査概要

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、関東北部から東北に至る社会インフラは甚大な被害を受け、特に地震の後に発生した巨大津波により、茨城県から岩手県の太平洋沿岸地域全体に多大な被害を与えたことは記憶に新しい。その被害状況調査はさまざまな機関により数多く実施、報告されている。土木学会では東日本大震災特別委員会が組織され、被害調査や今後の復興計画策定などを実施し、その内容についても学会HPに適宜報告されている。

今回の地震はマグニチュード9.0とわが国の地震観測史上最大規模の地震であり、死者、不明者合わせて約2万人を数える未曾有の大災害となった。社会インフラの損傷を含めた被害の多くは太平洋沿岸部に集中しており、これらの多くは地震発生後の津波が原因となっている。

一方それ以外の地域では地震による直接的な被害は限定的であり、阪神淡路大震災と比較しても地震規模や揺れの大きさの割には小規模である。また東北地方は比較的地下の公共空間が少ないこともあるが、地下施設の大きな被害は報告されていない。これまでよく言われてきた「地下は地震には強い」をある意味で証明した結果に

もなったが、沿岸部での被害が大きすぎたことから、こちらのほうには目が行き届いていないのも現実である。

今回は仙台市都市整備局、仙台市交通局の協力を頂き、営業中の市営地下鉄南北線、建設中の東西線の被害状況、ならびに仙台駅周辺の地下通路、仙石線地下駅との接続部などを調査するとともに、震災当日のこれら施設の状況や一般市民の動き、復旧状況などについてヒアリングを実施した。

今回の調査でこれらの諸施設も地震の影響で長期にわたり運休したり、使用停止になった箇所も数多くあることが判明した。しかしそれらのほとんどが地上部の施設の損傷に起因するものであり、地下部分は地震の影響はきわめて小さく、一部では地下部分のみ早期に部分営業運転を再開しているものもある。

幸いにしてこれらの地下施設は津波の影響は受けていないが、津波の影響を受けた沿岸部の被害状況を勘案すると、沿岸部における地下施設のあり方をも考えさせられる調査であった。

調査団は地下空間研究委員会を構成する4小委員会の有志7名（一部地下研と共同調査の形態）で10月24日、25日の2日間にわたり実施し、1日目は仙台市都市整備局

キーワード：東日本大震災、地震被害、帰宅困難者、地下災害調査

¹正会員 鉄建建設株式会社 土木本部海外事業部（〒101-8366 東京都千代田区三崎町 2-5-3）、E-mail:kiichirou-sakai@tekken.co.jp

²正会員 国土舘大学教授 理工学部理工学科（〒154-8515 東京都世田谷区世田谷 4-28-1）

³正会員 足利工業大学教授 工学部創生工学科（〒326-8558 栃木県足利市大前町 268-1）

⁴正会員 長岡工業高等専門学校教授 環境都市工学科（〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888）

⁵正会員 東京理科大学プロジェクト研究員 総合研究機構（〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-14-6）

⁶正会員 東日本高速道路株式会社 東北支社福島管理事務所（〒960-0231 福島県福島市飯坂町平野 11）

⁷正会員 都市地下空間活用研究会（〒112-0014 東京都文京区関口 1-23-6 プラザ江戸川橋ビル 201）

のヒアリングの後、営業中の地下鉄南北線および仙台駅周辺の地下通路の調査、2日目は建設中の地下鉄東西線の調査ならびに、東北大学と仙台市臨海部の調査を実施した。

2. 仙台市における地震の概要

仙台市付近の震災概要並びに強震記録は表-1、表-2の通りである。

表-1 仙台市の震災概要

発生日時	平成23年3月11日 14:46頃
震央地名	三陸沖（北緯38.1度，東経142.9度）
規模	マグニチュード9.0
市内震度	震度6強 宮城野区
	震度6弱 青葉区，若林区，泉区
	震度5強 太白区
津波	3月11日14:49 太平洋沿岸に大津波警報

表-2 仙台市における強震記録

地震計の位置	最大加速度	最大加速度時の速度(SI値)
八乙女駅 (路線の北側)	1149.9gal 3/11 14h 48m51s	74.5kine 3/11 14h 48m51s
富沢駅 (路線の南側)	389.6gal 3/11 14h 48m55s	39.9kine 3/11 14h 48m55s

3. 仙台市ライフライン被災概況と復旧状況

仙台市における震災後のライフラインの被災概況とその後の復旧状況は表-3の通りである。

表-3 仙台市ライフライン被害状況

地下鉄南北線	・八乙女駅上屋の鉄骨アンカー破断，北部の高架・橋りょう部損傷 ・3月12日，13日は運休 ・3月14日から富沢⇄台原で運転 ・4月29日から通常ダイヤで運行
市営バス	・4月12日からほぼ7割の路線で運行 ・4月18日から通常ダイヤで運行
電気	・138万戸停電（宮城県） ・被害が甚大な地域を除き，復旧
水道	・市内各地で断水，減水 ・断水人口約30万人 ・被害が甚大な地域を除き，復旧
都市ガス	・全供給停止（全358,781戸） ・被害が甚大な地域を除き，復旧
道路	・各地で軽微な道路破損，土砂崩落等が発生

なお津波の浸水地域は図-1の着色区域であり，仙台東部道路が防波堤となり地下施設が集中する市の中心地域

は津波の影響を受けていない。

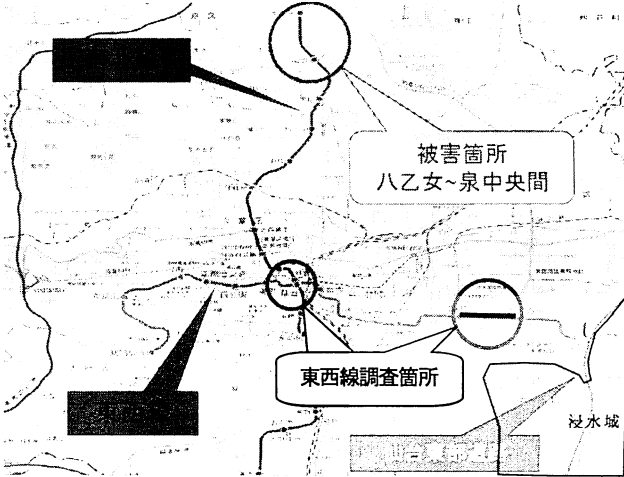


図-1 地下鉄の調査箇所

4. 調査結果

仙台市のヒアリング内容，仙台市調査報告書を参考に現地調査結果と合わせて以下に報告する。

(1) 地下鉄南北線

地下鉄南北線は仙台市泉区の泉中央駅から太白区の富沢駅を結ぶ総延長14.8kmの地下鉄路線で，昭和56年5月に建設工事が着工され，昭和62年7月15日に八乙女駅 - 富沢駅間が開業，その後平成4年7月15日に泉中央駅 - 八乙女駅間延伸開業された。路線の大半が地下路線であるが，北部の八乙女駅が高架橋構造，黒松駅は半地下構造，何部の富沢駅が高架橋構造となっており，その前後の路線を含めた区間が明かり構造となっている。

a) 地震による構造物被害，復旧状況

3月11日の震災直後に全区間で停電，運転停止となったが，直後に自家発電設備に自動切り替えを完了した。直ちに損傷状況等の確認を行った結果，八乙女駅の被害が大きく，泉中央駅～台原駅間の運行停止を決定し，それ以外の富沢駅～台原駅間で3月14日始発から折返し運転を開始した。

その後4月25日に泉中央駅から黒松駅間の復旧工事が完了し，26日に試験走行実施，最終調整を経て29日始発より全線で運転再開を果たしている。

今回の震災により，運行に影響が出る大きな被害は八乙女駅から黒松駅間の高架橋構造の部分に集中し，それ以外の地下構造部分には大きな損傷が見られない。八乙女駅での強震記録では約1150galと非常に大きな値を示

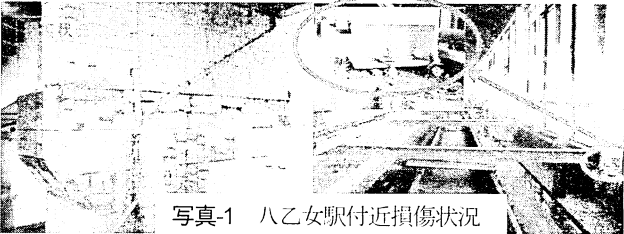


写真-1 八乙女駅付近損傷状況

しており、この揺れにより高架橋の一部に大きな損傷を受けている。

その他の地下構造部分について被害状況のヒアリングを実施したが、構造物に被害が出たとの報告は皆無であった。一部地層並びに地下水脈の関係で、勾当台公園駅の出口付近の一部にクラックが発生し、湧水が増加（毎分数リットル程度）したとの報告があったが、営業に影響するほどの被害ではなく、地震から7ヶ月以上経過した調査時点でもそのままの状態であった。



写真-2 勾当台駅地下通路漏水状況

b) 地震当日の構内の状況

3月11日の震災直後全区間で運転停止、運行中の列車は10列車があったが、そのうち駅間に2列車が停止しており、直ちに最寄り駅へお客様を誘導し避難を完了した。なおけが人等の発生は確認されていない。

地震の直後は地下鉄全てで停電し、駅構内も非常灯を除いて全ての照明が停止した。当時仙台駅構内にいた係員に確認したが、お客様が地震の揺れ自体でパニックを起こすこともなく、駅係員による誘導により全員の地上への避難が特に大きな問題もなく完了している。

仙台市地下鉄では、平成19年3月1日より気象庁の緊急地震速報を活用した「緊急地震警報システム」の運用を開始している。これによると、震度5弱以上の地震が予測される場合には、列車を自動的に減速・停止させるほか、駅構内には自動で「（報知音）緊急地震速報を受信しました」等のアナウンス警報を発令、改札及びホーム階に設置された可変表示器への表示、列車内では同様の案内放送が流れるようになっている。今回の地震によりこれらが全て計画通りに稼働したかの確認は取れていないものの、南北線仙台駅はホーム階が地下3階に位置する深い駅にもかかわらず大きなトラブルが発生していな

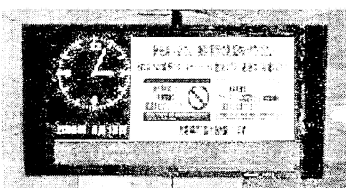


写真-3 ホーム階可変表示



写真-4 南北線仙台駅の階

いことは、今後の地震発生時に対する避難誘導並びに、安全確保のシステムの参考になると考えられる。

(2). 地下鉄東西線

地下鉄東西線は、南西部の八木山動物公園付近から都心部の仙台駅付近を経て、仙台東部道路の東インターチェンジ付近に至る、全体で13駅を有する全長約13.9kmの路線である。現在平成27年度開業を目指し全線にわたり工事が進められており、完成すれば仙台で2番目の地下鉄となる。河川横断部分以外は全て地下構造となっており、調査を行った仙台駅工区では底版部分の掘削が、六丁の目工区では駅部（シールド発進部）の躯体構築作業が、いずれも開削工法にて施工されている。

a) 地震による工事への影響

3月11日の地震直後、一時全工区の工事が中断した。その後の調査の結果、一部仮設構造物などに損傷が見られたものの、事業計画に影響が出るほどの被害が確認できなかったことから6月20日より随時工事を再開し、9月1日より全工区で工事が再開された。なお東西線は現行の最新の耐震標準により設計されている。

地震直後の被害調査により確認された損傷は以下の通りである。

- ・ 橋梁部において微小クラックが発生。
- ・ 開削部土留め壁に亀裂、浸水発生。
- ・ 開削トンネル本体構造物も微小クラック発生したもの、樹脂注入により対応可能な程度。
- ・ 開削埋設防護材の一部部材変形が発生。
- ・ 施工地域全体の地盤移動が見られ、両端の駅がそれぞれ3m以上海側へ移動し、駅間で約37cmの伸びが発生。施工済みのトンネルも100mm程度の移動が見られる。
- ・ NATM区間では被害は認められなかった。

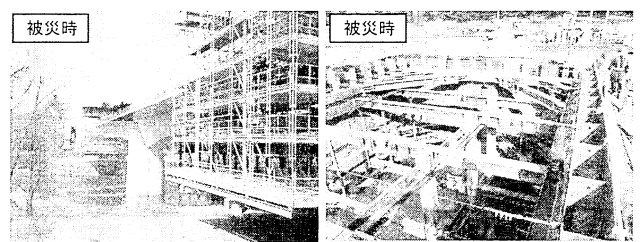
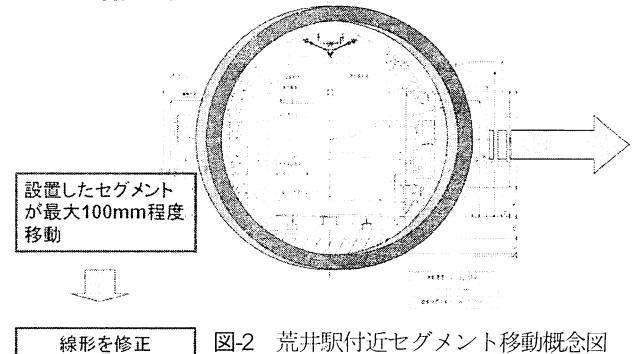


写真-5 橋梁状況(被害無し)

写真-6 土留壁破損部浸水状況

荒井トンネル



b) 地震当日の構内の状況

現在東西線仙台駅は底版部まで掘削が進捗し、交差する地下鉄南北線の下部を掘削している状況であるが、幸い地震発生時には掘削震度も浅く、営業中の南北線への影響は全く無かった。その他の構造物についてもほとんど地震の影響が見られず、JR仙台駅の損傷程度や直上の民間建築物が大きな損傷を受けていることを考えれば、地下においては地震の影響はかなり小さいと言える。

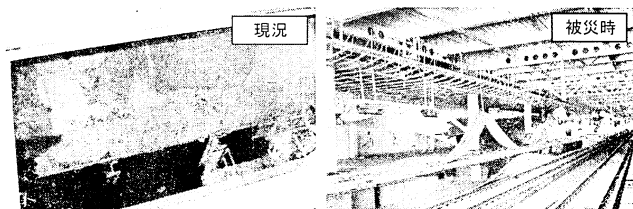


写真-7 仙台駅工区
南北線下部掘削状況

写真-8 新幹線仙台駅
被災状況



写真-9 仙台駅前建築物補修状況

一方六丁の目工区では仮受け中の下水管が地震により大きく移動し、揺れ止めを目的として設置された鋼材が大きく損傷、幸い下水管本体を鋼材で仮巻きする養生を行っていたため、下水管本体に損傷が無かった。また近傍に作業員がいなかったため、大事には至らなかったものの、地下鉄工事の地下埋設物の養生の重要性を改めて認識させられた事象である。

また土留壁の一部で、埋設管により欠損部となった箇所より地下水の流入が発生し、構内出水が発生したことも報告を受けた。



写真-10 六丁の目工区下水管状況

(3). 仙台駅前自由通路

仙台駅前の自由通路は、現在JR仙台駅、地下鉄南北線、JR仙石線並びに駅前広場、駅周辺の様々な建物を繋ぐ重要な導線として機能している。また現在建設中の地下鉄東西線が平成27年度に開業を予定しており、これらを有機的に機能させる役割を担った重要な施設である。

今回の震災による被害は、自由通路から出入りに繋がる一部のジョイント部分から少量の漏水が発生した程度で、その他構造物については微少のクラックが見られ

たものの大きな被害は発生していない。

また震災当日は通行していたお客様に大きなパニックは生じなかったものの、停電が発生したために照明が非常灯を除いて全てダウンしたことで、全てのお客様を地上に待避させた上で一時閉鎖したとのことである。

仙台地区も首都圏同様に数多くの帰宅困難者が発生し、JR仙台駅の壁崩落、駅前ペデストリアンデッキの一部損壊により旅客避難に問題が発生したため、健全な状態であった地下通路への避難も検討されたが、電源の確保が困難であったため見送られたとのことであった。

地下自由通路は様々な施設を繋ぐ重要な施設ではあるものの、それぞれの施設の出入り口は決してスムーズに出入り可能な状況とはなっていない。また防災上の問題点も種々見出されたことから、仙台市としては連絡通路の拡幅（当初より構造的には拡幅可能な構造となっている）、JR改札設置等の乗り換えの利便化、バスターミナルの集約化などの施策を検討しているとのことである。



写真-11 仙台駅前自由通路

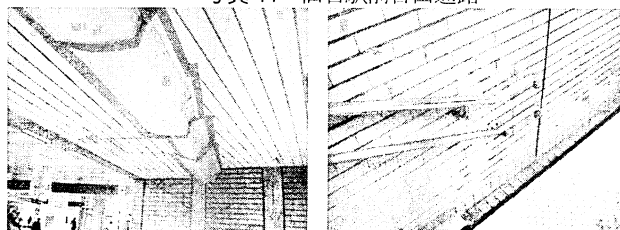


写真-12 自由通路被災状況

(4). その他の施設の状況

仙台市のその他施設として、下水道、上水道、ガス供給施設、空港等がある。特に臨海部に位置する空港、下水処理場、ガス供給工場については、津波により大きな損傷を受け、空港を除き現在でも復旧は完了していない。しかし地下の管路自体は比較的損傷が小さく、その多くは早期に復旧が完了している。特にガスについては代替管路として設置されていた地下導管を有効利用することにより、他県の工場からの供給を早期に可能にした事など、地震による被害が少なかった地下施設を有効に利用することにより早期の復旧を果たしている。

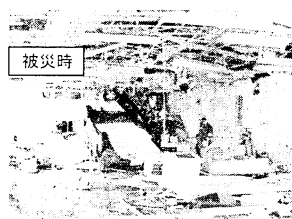


写真-13 ガス工場被災状況

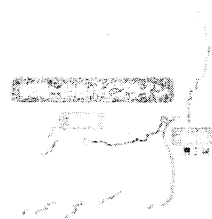


図-3 ガス代替パイプライン

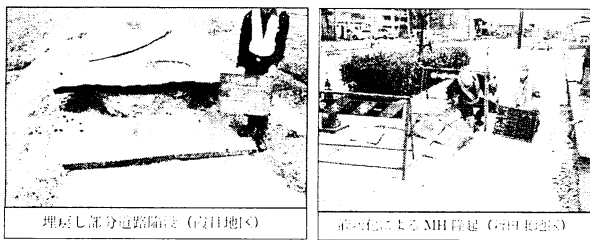


写真-14 下水マンホール損傷

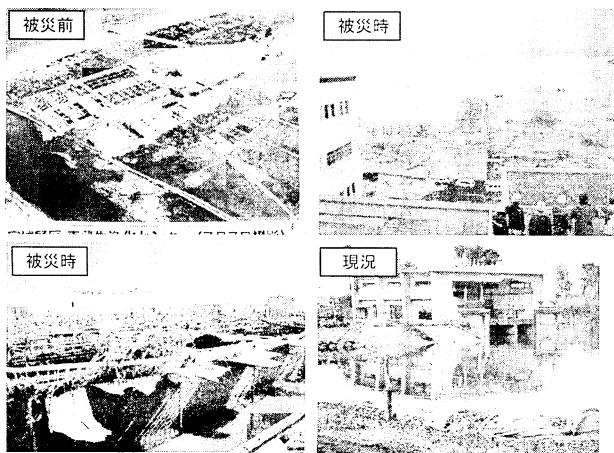


写真-15 下水南蒲生浄化センター



写真-16 仙台空港アクセス鉄道

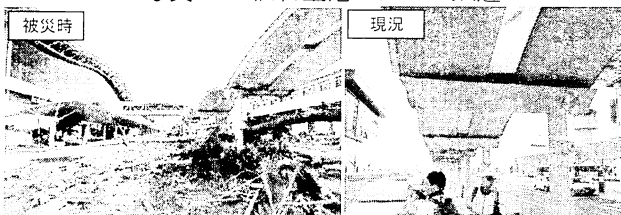


写真-17 仙台空港被災状況

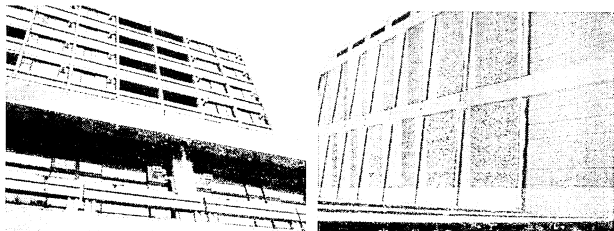


写真-18 東北大学建設棟クラック発生状況

(5). 仙台市の地震に対する課題と今後の対策

今回はこれまでにない規模の地震であったこと、その後発生した大津波により数多くの被害が発生したこと、震災が非常に広範囲にわたったこと、付け加えて福島原発の事故も重なり、今後の都市行政に対して多くの課題を残した。

仙台市の市街地部に限定しても、今回の調査並びにヒアリングにて数多くの問題点を確認している。

- ・都市交通が麻痺し、帰宅困難者が数多く発生した。
- ・仙台が観光地であることから、遠隔地からの旅行者が数多く帰宅難民となった。あわせて外国人の観光者も多く、その対応に苦慮した。
- ・駅周辺の地上部分で建造物の損傷が多く見られ、多くの旅客避難の妨げとなった。
- ・地下部分には損傷は見られなかったものの、停電が発生したことで避難を余儀なくされた。
- ・避難民の受け入れに対して、各企業や施設の連携が十分機能しなかった。また備蓄の問題も発生した。
- ・通信手段が遮断されたことから、連絡通信が十分機能しなかった。

これらの諸問題に対し、今後仙台市としては各方面との調整を経て以下の対応策を順次整備する方向で検討が進められている。

- ・仙台駅周辺の一般旅客公衆の動きをスムーズにさせるための、導線の確保（自由通路の拡幅、改札口設置、パスターミナルの集約）。
- ・特に地下施設を有効活用するための、官民連携による協議会の設置とルール作り。
- ・協議会主導による緊急資材の備蓄、避難訓練などの実施。
- ・災害時専用の連絡通信システムの整備。
- ・最低電源確保に対する設備の検討。
- ・自転車などを有効活用した、災害時の移動方法の検討。



写真-19 現地調査状況

5. まとめ

今回の地震はこれまで我が国が経験した中で最大規模の地震であり、その後発生した大津波が大きく影響し、広範囲にわたり我々の築いてきた社会資本がもろくも崩れ去った。これは単に自然災害だとか、想定外の規模だったと説明できるものでなく、我々技術者はこの震災により被害を受けた建造物、あるいは能力を保ったものの機能を失った施設が、どのような過程で損傷したかを明確にしなければならない。

今回の調査では地下構造物の被害はほとんど確認できなかった。この結果は、これまで地下は地震に強いと言う事がある程度証明したことになる。

一方、地震で発生した津波が地下施設に対してほとんど影響を与えなかったことから、「津波と地下」の関係は一般的にはあまり取り沙汰されていない。しかし東京を始めとする多くの大都市が臨海部に多くの地下施設を抱える事を考えれば、この対応も今後早急に検討する必要があると考える。

また震災直後は関東地区と同様に大規模な帰宅困難者が発生したにもかかわらず、地下を含めた多くの施設が有効活用されなかったことが報告されている。これは停電という物理的な原因だけではなく、法律や縦割り社会の弊害が大きな障害であったと考えられる。

今後近い将来、東海、東南海、南海、首都直下などの巨大地震の発生が予測され、これらの諸問題を解決すると共に、耐震性の強い地下空間をどのようにすれば有効に活用出来るか、あらゆる垣根を取り払って検討しなければならない。

謝辞：今回の調査視察にあたっては、仙台市都市整備局総合交通政策部長の岩崎裕直氏、仙台市交通局東西線建設本部建設部工事事務所長の千葉正弘氏を始めとする仙台市の多くの方々と、地下鉄仙台駅工区土木工事JV、地下鉄六丁の目工区土木工事JVの皆様方には、資料の提供並びに現場案内など、多岐にわたるご協力を頂いたことに對し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 岩崎裕直：平成 23 年 3 月 11 日 東日本大震災 仙台市圏及び仙台市における公共交通の復旧と課題，平成 23 年 7 月 15 日 第 6 回日本モビリティ・マネジメント会議資料，2011.
- 2) 齋藤貴之，岩崎裕直：仙台駅周辺地区の地下空間の活用について，第 16 回地下空間シンポジウム論文・報告集，pp.111-118, 2011.
- 3) 仙台市交通局：東北地方 太平洋沖地震による被害状況について，平成 23 年 7 月報告資料，2011.
- 4) 仙台市ガス局 HP，
<http://www.gas.city.sendai.jp/top/info/2011/09/000962.php>
(2011.11.17 参照) .