

都心部防災における地下空間利用（地下防災ネットワーク）の提案 Utilization of underground space (underground emergency network) on urban disaster

千葉俊彦*, 泉典宏**, 日野泰輔***, 高森卓****

Toshihiko CHIBA, Norihiro IZUMI, Taisuke HINO, Takashi TAKAMORI

Through the analysis about the condition of urban transportation infrastructure and people's behavior related to transportation after Hanshin-Awaji big earthquake. We guessed what the condition of road is for three days from when the disaster occurred in center of Tokyo.

As a result, caused by loss of the function of road, railroad, bus and so forth, it is necessary to secure the transportation means of sufferers and necessities on the rescue and restoration mission. We confirm that underground space use is effective, "underground emergency network" is a concrete plan of the underground space activities.

Key word: Earthquake disaster, the underground space, an emergency network

1. はじめに

一般に、大都市の防災計画では、大震災時等に都心部の道路を全面通行規制し、避難活動、救援・復旧活動を行うこととしている。しかしながら、阪神大震災では、車が幹線道路上に放置され、避難者が車の合間を縫って避難する箇所も多かった。ましてや、混雑の激しい時間帯に災害が発生すると地上の道路機能のほとんどが奪われる恐れがある。その原因としては、放置車両の他にも、倒壊建物やガレキ、道路損壊による自動車の特定路線への集中等がある。

地上の道路機能が失われることにより、震災直後は救援・救助活動、避難活動および消火活動等に支障が出る。また、震災発生から数日後になると緊急物資輸送や応急・復旧活動にも支障をきたすこととなる。特に最も重要である救援・救急活動は、直後はもとより、生き埋め等の場合一般に3日間が限界といわれていることから発災後3日目までは円滑に活動が行われなければならない。

本稿では、阪神・淡路大震災での都市交通基盤への被害状況、住民の具体的な交通行動の分析を通じて、東京都心部を例に災害発生から3日間程度までの「直後・緊急」と呼ばれる期間における道路交通状況を推測し、救援・復旧活動における交通面の隘路を明確化する。さらに救援・復旧活動を担保するための地下空間利用の有効性を示し、地下空間利用の具体策として「地下防災ネットワーク」の提言を行う。

キーワード：震災、地下空間、防災ネットワーク

*、**、****正会員 ㈱オリエンタルコンサルタンツ 交通運輸部、***正会員 同 都市地域部

2. 阪神・淡路大震災の状況分析

2. 1 都市交通基盤のダメージ¹⁾ 2)

先の阪神・淡路大震災では震源の直近にあたる兵庫県神戸市、周辺都市を含め都市交通基盤に大きなダメージを与えた。震災直後は道路の通行止め、鉄道の運休、港湾の液状化・沈下により避難活動、救急・救助活動に多大な影響を与えた。道路、鉄道、港湾の総被害額は約2兆2,000億円にも上る。中でも高速道路の被害は、阪神高速道路3号神戸線が倒壊する等大きな被害である。大半は高架橋等橋梁の破損であり、復旧にも時間を要した。高速道路の復旧は、震災3日後でも阪神高速道路で約半数にとどまった。震災後2、3日では各自治体の備蓄食糧等もなくなり、物資輸送はその他の道路に頼らざるを得なくなった。そのため、各地で大渋滞が発生した。

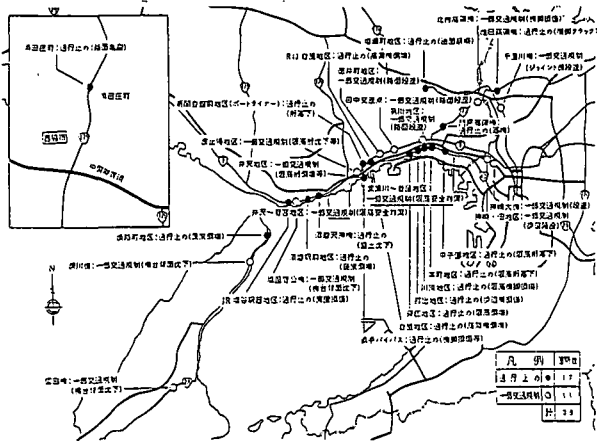


図-1 道路の被災状況

ライフラインについても大きなダメージを受けた。応急復旧が完了するまでの時間は、表-1のとおりである。下水道施設が最も時間を要し、仮設トイレに頼ることとなった。また、上水道についても約1ヶ月半を要したため、給水車等が重要となった。ただし、共同溝・キャブシステムの被害は軽微なものであり、特段の影響はなかった。

2. 2 具体の交通行動と周辺の状況分析²⁾ 3)

このような道路、鉄道、港湾等交通手段の途絶や上下水道、電力、ガス等の被害および火災・建物倒壊等による負傷等で、住民はパニックになった。具体の交通行動と周辺の状況について震災発生から3時間、3時間から3日間、3日間以降の3段階に分けて分析した。

(a) 震災発生直後から3時間

震災発生直後から3時間までは直後段階と呼ばれ、生命確保の段階である。この段階はけが人が消防署・警察署に殺到する等住民は混乱している。交通の混乱、放置車両により、情報収集、救急・救助・消火活動に支障が発生している。ここでの情報は、主に地震情報、被害の情報である。移動手段としては主に自転車、バイク等が利用された。また、住民の避難が開始される。

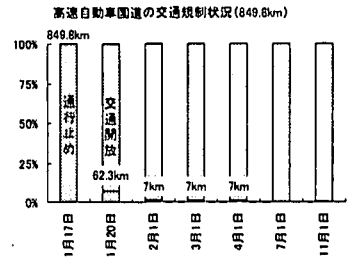


図-2 高速自動車国道の交通規制状況

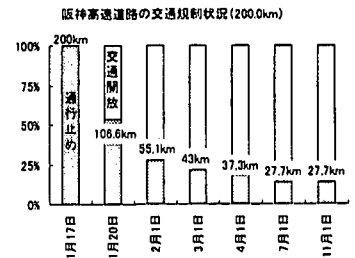


図-3 阪神高速道路の交通規制状況

表-1 阪神・淡路大震災における
ライフラインの応急復旧日数

施設名	応急復旧日数
上水道施設	42日間
電力施設	6日間
ガス供給施設	84日間
下水道施設	194日間
電気通信施設	14日間

(b) 震災発生後3時間から3日間

震災後3時間から3日まででは緊急段階と呼ばれ、生命維持の段階である。この段階は住民の本格的な避難、物資輸送・救急救助・基盤復旧のための車両や人により渋滞が激化する。普段は20分で行けるところも3時間以上要する場合もあった。住民や救助者だけでなく、やじうまや報道機関も被災地に流入する。移動手段として鉄道の代替交通手段であるバスが加わる。

また、食料・飲料水が不足し始め、さらに住民はパニックから情報を求めるが、うまく情報伝達が機能しなかった。ここで求められる情報は地震情報、被害の情報、飲料水・食料配給情報、道路・鉄道・ライフライン等復旧情報等である。

(c) 震災発生後3日間以降

震災後3日以降は応急・復旧、復興段階と呼ばれ、生活確保・維持の段階である。通勤・通学が開始され、ボランティアが多く集まる。全国から集まるボランティアは、公共交通機関の復旧の遅れから、自動車で来るものもあった。また、がれきの処分地が不足し、鉄道の代替バスが路上で発着することで渋滞に拍車をかけている。

以上からみると、震災によって道路が利用できなくなることにより、救急・救助をはじめ様々な活動に支障を与えている。また、被災地内の人は一且、家に帰ろうとするが帰れない帰宅困難者となる人が多い。

阪神・淡路大震災は震災発生が早朝5時台と通勤交通が少ない時間帯であったが混雑の激しい時間帯であればさらに被害は大きくなり、地上の道路機能は完全にストップするものと予想される。

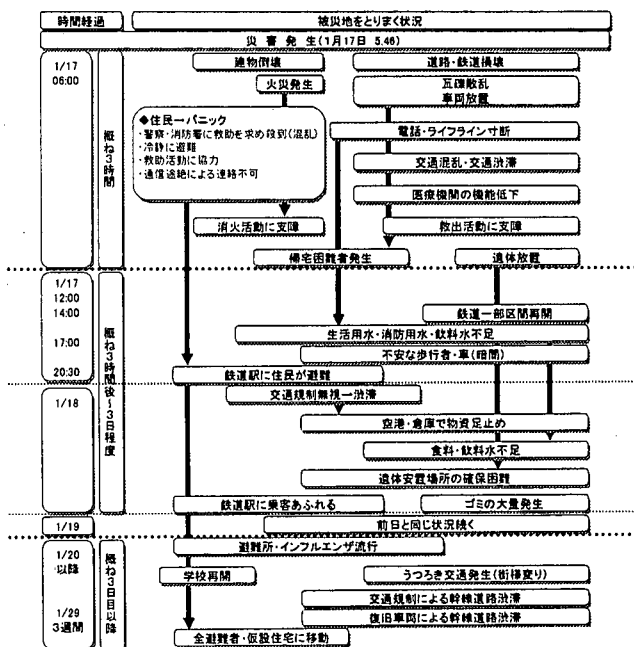


図-4 阪神大震災発生後の周辺の状況と具体的な交通行動

3. 東京都心部における地震発生から3日間までの道路交通状況推測

3. 1 地震発生から3日間までの道路交通状況推測

2で分析した阪神・淡路大震災の道路交通から、東京都心部での道路交通状況を推測した。

(a) 発生集中交通量の予測

平成7年の国勢調査結果、既存資料等から、地区別の発生集中量、行動別の発生集中量を予測した。時間軸は阪神の事例を用いている。地区は、放射状に伸びる自動車専用道路を中心に8つの地域に分けている。これによると、千葉南部を除き被災地となる東京都心部と各地との発集量はピーク時1時間当たり約20万人となり、かなり多くの流動が短時間で発生することになる。

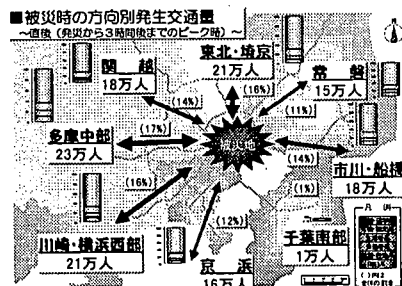


図-5 地区別発集量予測

また、行動別でみてみると。通勤・通学からの帰宅者は全体で1,000万人以上いるが、その内約500万人は発災後6時間でも帰宅できない帰宅困難者となると予想される。

救援・救助の交通は、12時間後には約90万人になる。通勤・通学も3日目以降には本格的に再開され、約470万人と予想される。

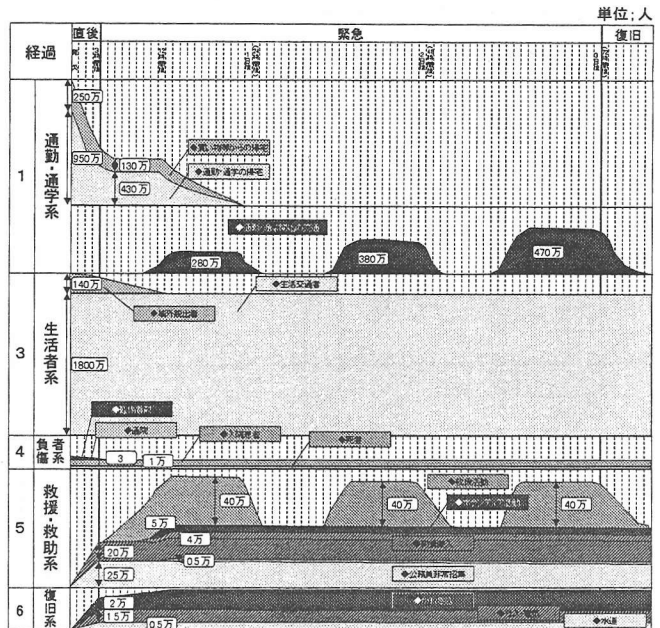


図-6 行動別の発集量予測

(b) 交通行動を勘案した道路交通状況推測

(a)の検討結果をみると、阪神・淡路大震災以上に都心部および周辺部の道路網が大渋滞を起こすことが予想される。主要な環状道路が不通になることから特定の放射道路に集中してしまう。しかも放射方向の自動車専用道路も不通路線が多く、各方面には約20万人が発生集中すると予測されるため、現在の状態では、救援・救助活動、物資輸送、帰宅等への影響は避けられない。

3. 2 救援・復旧活動における交通面の隘路

3.1の検討から救援・復旧活動における交通面の隘路を明確化する。東京都の調査によると、区部直下の地震の場合、深度7、6強の地域では高速道路が全線不通になると予想されている。

(a) 救援活動者

- ・発災後、非常参集されるが制服を着ている場合途中で助けを求められ配置につけない。
- ・警察署・消防署に助けを求める人が集中し、110番・119番対応には人が足りない。
- ・被災地外より応援が来るが、周辺道路の大渋滞により応援が大幅に遅れる。
- ・がれき、倒壊建物により救急車・消防車の到着が遅れる。
- ・さらに自衛隊・ボランティアも周辺の大渋滞で到着が遅れる。また、被災地内には2,000万人以上の人が集中し、被災地内の渋滞が激化する。

(b) 復旧者

- ・がれき運搬や復旧には多くの応援がかけつけるが、慣れていない道のためスムーズな目的地までの到達が困難である。
- ・住民の生活に重要であるライフラインの復旧は、人手不足や調査に時間がかかることもあるが、渋滞により現場への到着が遅れることで復旧に多くの時間を要している。

4. サービスの確保

震災発生後には、道路空間をはじめとする移動空間の容量が極度に低下した状態のなか、帰宅者や救援者など様々な交通が対象に発生する。これらが無秩序に移動した場合、わずかに残った移動空間がたちまち混雑し、対応の遅れや被害の増大を招くこととなる。

このため、各自治体では防災計画において、緊急輸送ネットワークを確保する計画を立てている。この緊急輸送ネットワークは災害時の救助や医療・消火活動、ライフラインの応急復旧、緊急物資輸送等を行うことを目的としたものである。

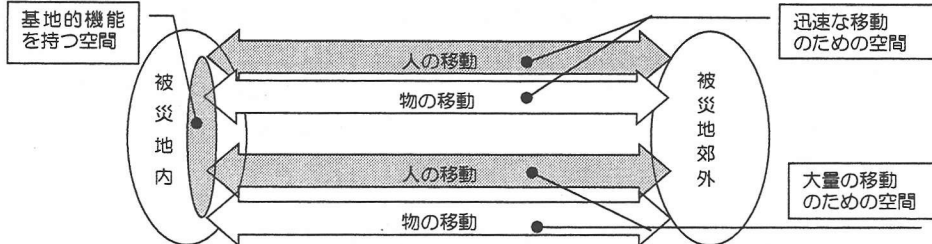
しかし、発災後には、阪神・淡路大震災の例を見ると、負傷者の搬送や支援物資の搬送など、一般車による部分も非常に多く、さらには、被災地からの脱出者なども大量に発生している。また、一般道の交通規制が実質機能し、心情的に通行規制を被災者に受容してもらうよう合意形成を図る点においても困難が予想される。これらの実状をかえりみると、一般車の通行を一切規制し、緊急車両や物流関係車両などに限定することが、必ずしも最善策とは考えにくい部分もある。例えば、負傷者の搬送を救急車両ですべてまかなうことが現実的に可能か、あるいは、被災地からの脱出者の移動空間を制約することで被災地内の人口が減少しないことになるのが得策か、などと考えた場合、一般車の規制については検討の余地があるものと考えられる。

ただし、一般車の通行も前提とした場合、所要の重要な機能を確保するためには、何を優先し、何を規制するか、優先順位を如何に考え、そのための方策としてどのような機能をもつ施設を確保するかについてあらかじめ設定しておくことが重要である。このため、移動空間や結節点での基地的な空間等について、機能別に役割分担する考え方として、震災発生後からの時間経過において、どのタイミングで、どのような交通を確保することが望まれるかを図-7に整理した。サービスの優先順位から考えて、以下のとおり機能分担することが望ましいものと考えられる。

- ・概ね3時間後までの直後段階では被災状況の把握と救助・救援のための移動空間確保
(被災状況確認のための移動、救助・救援者や救助・救援資機材の搬送、負傷者の搬送等の移動を確保し、他は通行規制)
- ・3時間後から3日間の緊急段階では、上記の移動空間確保に加え、帰宅者等のための移動空間確保
(上記に加え、帰宅困難者、域外脱出者、インフラ/ライフラインの復旧、生活物資の搬送等の移動を確保し、他は通行規制)
- ・3日間以降の応急・復旧、復興段階では、上記に加え、通勤の再開、瓦礫処分などのための移動空間確保
また、移動の空間確保にあわせて、被災地内の結節点において一時滞留のためなど以下のような基地的機能を持つ空間が求められる。
 - ・救助・救援者の拠点となる空間の確保、傷病者の域外搬出のための乗り換え施設
 - ・帰宅困難者の一時滞在場所
 - ・全国からの生活物資の一時置き場、配分・仕分け施設

これらを有機的に機能させるためには、「人の移動か物の移動か」、「迅速な移動か大量の移動か」の別で移動空間を分担する方法が必要と考えた。つまり、①救急隊員などが迅速に移動できる空間、②帰宅困難者や通勤再開者が大量に移動できる空間、③救助・救援物資や医療物資などが迅速に搬送できる空間、④全国からの生活物資などが大量に搬送できる空間の4つの機能をそれぞれが必要とされるタイミングも考慮して分担することで、要求事項への対応を円滑に機能させることができるものと考えられる。

迅速な移動	区分	交通の種類	発災	3時間	12時間	24時間	3日	3日以降
	人	被災状況確認						
		救助・救援者						
		負傷者の搬出						
		インフラ/ライフラインの復旧						
大量の移動	物	救助・救援の資機材						
	区分	交通の種類	発災	3時間	12時間	24時間	3日	3日以降
	人	帰宅困難者の帰宅						
		域外脱出者						
		通勤・通学の再開						
	物	生活物資(食糧、水、毛布等)						
		瓦礫処理						



図ー7 移動空間の時間軸上、空間軸上での使い分け

5. 都心部防災における地下空間利用の有効性

5. 1 阪神・淡路大震災における地下空間の被害⁴⁾

阪神・淡路大震災では2で示したように地上は大混乱となっており、道路機能が完全に麻痺していた。一方、地下空間の被害は地下鉄では、開削広報で建設された神戸高速の大開駅は、ボックスラーメン構造であるが、鉄筋コンクリート造りの中柱が完全に破壊し、その上面のスラブが沈下して、地上の国道28号線が3～4m陥没した。しかし、鋼製の柱には被害が認められておらず、またシールドトンネルをはじめとして一般トンネル部の損傷は少ない。また、地下駐車場の状況を六甲アイランドについてみると、島へのアクセス橋や港湾施設にはかなり被害が出ているが、地下駐車場には全くと言っていいほど被害がみられない。最後に共同溝については、直上部の地表面は出入口付近で若干沈下があるものの大規模な変形を生じていない。また、出入口部の損傷もない。全体的に共同溝の損傷程度は軽微である。

5. 2 防災面からみた地下空間の有効性

前述のとおり、都市部における地震災害の場合、地上部の交通インフラは大きな損壊を受け、これと併せて放置車両等により著しい交通渋滞が発生し、都市機能が麻痺することが予想される。このことは、発災直後の情報収集はもとより、消火、救援・救助等の初期の諸活動を妨げることになる。

このような事象に対しては、各自治体の地域防災計画においてその対処の方法が定められるべきである。しかし、発災直後の都市機能、特に交通機能の寸断を即地的に想定した計画は、現在の地域防災計画をみても定められていないのが実状である。この理由としては、交通流動を時間帯別に把握したうえで交通インフラの機能麻痺の全体像を想定するには多大な時間を要すること、仮に想定したとしても地上部のみでは十分な解決策が見あたらないことにあると考えられる。しかしながら、朝夕の交通渋滞が発生している時間帯では、発災直後において交通機能が麻痺することは不可避な状況にあり、発災直後の諸活動を円滑かつ迅速に行うためには、地上部以外における対策を講じることが喫緊の課題となっている。

一方、地下の特性をみると、一般に深層地盤は高い剛性を持つため、地震動等の外力を受けたときに発生する振動・振幅が小さいこと等が挙げられる(表-2)。また、地下においては、消防法、建築基準法等により施設毎に災害対策が厳しく定められている。前述の阪神・淡路大震災の例をみても、地下施設の被害が地上部に比して大きくないのは、こうしたことに起因していると言える。

このような構造的な地下特性を考慮すると、地上部で抜本的な解決策がない現状では、地下道路や地下鉄等を地上部の交通インフラの代替路線として利用すること、あるいは地上部の交通インフラの復旧拠点等として利用することは有効であると言える。もとより地下施設そのものが損壊を受けないこと、また地下道路であれば平常時において渋滞していないことが、災害時における地下利用の前提となる。

表－２ 地下の特性とメリット⑤

地下特性	地上に比較して有利な特性	代表的施設事例	将来利用が望ましい施設
断熱性、恒温性、恒湿性、耐候性	地盤の有する大きな熱容量のため、熱伝達速度が緩やかである。地中温度は地下５m程度で地表気温変化の影響が少なく、安定した状態になる。湿度についても外部とのやりとりが少ない。閉鎖空間にしやすいことから環境制御が容易となる。	図書館、地下街、精密機械工場、通信・情報センター、食糧等の貯蔵施設	文化・教育施設、スポーツ施設、商業・産業施設、情報・通信施設、エネルギー施設
防音・遮音性	音の波動エネルギーは地盤における波動の透過損失が空気より大きいので、音が伝わりにくい。閉鎖空間になって、より有効に作用する。	高速道路、地下鉄道、図書館、精密機械工場、通信・情報センター	文化・教育施設、商業・産業施設、情報・通信施設、交通・物流施設
不燃性、耐火性	地盤は不燃性と考えてほぼ間違いない。	情報・防災センター、地下変電所	情報・通信施設、環境・防災施設、エネルギー施設
防振性、低振動性耐震安全性	深層地下地盤は高い剛性をもつため、地震動等の外力を受けたときに発生する振動振幅が小さい。	機械精密工場、情報センター	産業施設・工場、情報・通信施設
気密性、隔離性	地中を移動する気体の流量・流速は大気中に比べて小さく、地下水がある場合はさらに小さくなる。地上環境と隔離されている。	防災センター、下水処理施設、発・変電所	環境・防災施設、処理・処分施設、エネルギー施設
放射能遮断性	地盤中にある放射性物質は岩盤への吸着等から大気中に比べて移動速度が非常に小さい。	防災センター、核シェルター	環境・防災施設、エネルギー施設
電磁波遮断性	電磁波は電気伝導率の小さい岩盤の中では減衰しやすい。周波数、透磁率が大きいほど著しい。	情報・防災センター、宇宙線観測施設	情報・通信施設、環境・防災施設、研究開発施設
遮光性、暗黒性	地盤の存在により太陽光線が届きにくい。紫外線の影響も極端に少ない。	食糧貯蔵施設、植物栽培施設	物流・貯蔵施設、研究開発施設
化学的安定性	岩盤は強酸、強アルカリとの反応は緩やか。	石油類備蓄施設	エネルギー施設、貯蔵施設
防爆性	岩盤は大きな強度・重量を有しているので、爆発により生ずる衝撃圧に対する安定性が確保できる。	石油類備蓄施設、爆破実験施設、防空壕シェルター	エネルギー施設、研究開発施設

６．地下空間の利用方策

前節では防災面からみた地下空間の有効性を示したが、ここでは「首都高速中央環状線新宿線」（以下、中央環状線と略す）を例にとって地下空間の利用方策を述べる。

中央環状線は、東京都目黒区青葉台四丁目を起点に、板橋区熊野町を終点とする延長約 11.0km 自動車専用道路であり、首都圏における３環状９放射の道路ネットワークの一部を形成するものである。現在、地下道路として、また安全性の観点から渋滞させないことを前提として計画が進められている。

また、中央環状線の地上部には環状第６号線が通過しており、沿道には高密度の市街地が形成されている。同６号線は、関連街路として整備される計画があるものの、朝夕には従来どおりの交通混雑が発生するものと想定される。したがって、交通ピーク時に阪神・淡路大震災規模の地震が発生した場合、放置車両が多発し、かつ沿道建築物の倒壊等により、交通機能が麻痺する可能性は高い。また、震源地の位置によっては避難所や防災センター等防災施設そのものがダメージを受ける可能性もある。

こうしたことを考慮すると、地下道路である「中央環状線」は、①交通基盤の復旧活動の拠点、②情報の収集と伝達、③物資等各種輸送のための支援、④救援・復旧活動の支援といった、従来、地上部において發揮することが必要とされてきた役割を担うことが考えられる。ただし、地上部の被災状況を適切に判断し、地上部と地下部において、前述した「人の移動か物の移動か」、「より早くかより多くか」の別で移動空間を分担することが必要となる（表－３）。

例えば、1.0～1.5km 間隔で設けられる換気所を活用して救援・復旧活動や情報収集伝達、備蓄のためのセンター施設を併設するといった拠点としての機能や、避難通路を緊急物資等の各種輸送のためのルートとして活用するといった復旧支援路としての機能を付加することが考えられる。特に物資輸送に関しては、自動化された地下物流システムを平常時機能として導入することが有効と考えられ、逆に人員輸送路としての利用は二次災害等のリスクを考慮すると馴染まないと言える。

また、中央環状新宿線の場合は、交差する地下鉄千代田線、丸の内線、東西線、有楽町線や、中央環状線の深層部を通る都営地下鉄 12 号線との間で避難路の連絡を図ることも有効である。これにより、地下道路で被災した自動車利用者を、地上部の混乱を避けて、地下鉄を利用して安全な場所へ輸送することが可能となる。さらには被災を受けなかった地域から物資等を地下鉄および中央環状線を経由して、拠点等から被災地へ輸送することも可能となる。したがって、こうした機能を中央環状線に付加するだけでなく、中央環状線品川線、高速 10 号線及び都心新宿線などの地下道路の計画に付加し、さらには地下鉄や地下街との連絡を図ることで、地下防災ネットワークを形成していくことが、防災面から地下空間を利用するうえで有効である。

表－3 地上部と地下部における移動空間の分担イメージ

	人 員	物 資
地上部	- 被災の程度により判断する必要がある。 - 特に甚大な被害を受けた場合、人命確保を優先して、救援・救助活動のための移動路として利用する	- 被災の程度により判断する。 - 特に甚大な被害を受けた場合、速達性を重視し、生命維持に関わる緊急物資の輸送路として利用する。
地下部	- 地下施設利用者の避難路としての利用に限定する。 - ただし、地上部が甚大な被害を受けた場合、地上部の代替移動路として利用する。 - また、地上部が甚大な被害を受けた場合地下部に一時的な滞留空間を設けることが必要。	- 直後段階は利用者の避難路、地上部の代替移動路として利用する。 - 緊急段階以降は、ネットワークを活かして物資・資機材の大量輸送路として利用する。

7. おわりに

震災時には各所で交通基盤が寸断され、容量低下が生じているなかで各種の大量の交通が発生する。これらの交通には、被害を最小限に抑え、市民の安全を確保する上で重要な救助・救援活動や復旧活動のための交通も含まれ、一方では、被災者自身の生活の維持や被災地を脱出する交通も含まれる。発災後の初期段階では生命確保の観点から救助・救援が最重要視されるが、時間が経過するにつれ全国からの救援物資の輸送や経済活動の再開など時間軸上で交通基盤に求められる役割が短期間に変化し、それらのニーズに適切に対応できるネットワークや空間が求められる。本論では、これら変化するニーズに対応して、地下空間と地上空間の役割分担のもとでの所要機能の発揮を目的とし、東京都心部において大震災が発生した場合の対応について、救援復旧活動を支援し、各種の発生交通を処理するための地下空間も含めたネットワークの活用の仕方を提言した。

今後は、活用の仕方についてサービス水準の設定とそれに基づく必要な施設や空間の規模について定量的な分析を行うとともに、具体的な運用方法および実現化方策の具体的手法などに関する検討を行い、地下空間を利用することの有意性について評価することが必要と考える。

8. 参考文献

- 1) 阪神大震災特集、日経コンストラクション、1995
- 2) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、1997
- 3) 総務庁統計局：平成 7 年国勢調査報告第 6 巻、1997
- 4) 森本誠治他：阪神・淡路大震災被害調査報告書、社団法人建設コンサルタンツ協会、1995
- 5) (財) エンジニアリング振興協会：「地下空間」利用ガイドブック、1994