

# 段差走行実験に基づく 地震時の道路の性能評価および交通運用

常田賢一<sup>1</sup>・小田和広<sup>2</sup>・中平明憲<sup>3</sup>・林 健二<sup>4</sup>・依藤光代<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup> 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: oda@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>3</sup> (株)建設技術研究所大阪支社 技術統括部長 (〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-2-15)

E-mail: nakahira@ctie.co.jp

<sup>4</sup> フォレストエンジニアリング 代表 (〒631-0032 奈良市あやめ池北 1-8-59)

E-mail: hayashik@kcn.net.jp

<sup>5</sup> 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: myorifuji@civil.eng.osaka-u.ac.jp

地震時の道路では路面の段差により車両の走行機能が阻害されるが、社会的影響の低減のためには、特に一般車両の迅速な開放が必要である。そのためには、段階的な補修とそのレベルに応じた車両の解放が有効であるが、このような性能評価型道路管理の視点による補修、交通開放の基準は明確でない。

本研究は既往地震での地震直後の交通規制から解除までの運用の現状を把握するとともに、地震時に発生する段差に関して、模擬段差に対する車両の走行実験を行い、段差通過時の車両の挙動、段差量と車両の走行速度の関係、段差通過時のドライバーの意識を明らかにした。また、地震直後の交通止めから通常走行までの段階的な補修水準および車両の種類、車両の走行速度に応じた交通開放の運用方法を提示した。

**Key Words :** Earthquake, Road, Traffic Performance, Bump, Driving Test, Road Management

## 1. まえがき

2004 年 10 月の新潟県中越地震では、橋梁の取付け部、横断構造物の境界部および沢の横断部などにおける縦断方向の盛土の沈下あるいは横断方向の盛土のすべりに伴う路面の段差が発生した。これらの段差被害は、車両の走行機能を阻害し、その結果としての交通止め、さらには交通開放の遅延が、震後の社会活動あるいは復旧、支援に重要な影響を及ぼした。

地震時の道路の交通止めに対しては、応急復旧により緊急車両を優先しながら段階的に開放され、最終的に一般車両の全面開放、通常走行に至るが、交通障害の社会的な影響を低減し、防止するためには、緊急車両以上に一般車両の迅速な開放が必要である。

ここで、道路の交通機能を考えた場合、交通止めは機能が零の状態であり、通常走行は機能が 100%発揮されている状態であるが、地震直後の緊急時においてはこれらの中間の状態を考えることにより、相応の交通機能が確保され、社会的な影響を軽減できることになる。この中間状態は段階的な交通開放に相当するが、それを効果

的に行うためには段差被害に対する車両の走行性を考慮した緊急的な補修基準が必要である。しかし、現在、通常走行させるために設定されている道路舗装の補修基準はあるものの、車両あるいは速度を規制した段階的な交通開放の基準、言い換えれば、道路の走行機能に着目した基準は明確でないのが実情である。これは、性能評価型の道路管理の視点と言える。

本研究は、段差に関する性能評価の現状を概観するとともに、新潟県中越地震および 2003 年宮城県北部地震における地震直後の交通規制から解除までの道路の管理・運用の実態を把握する。また、段差が車両の走行性に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として、地震時の路面段差を模擬した人工段差に対する車両の走行実験を行う。同実験から、段差通過時の車両の挙動、段差量と車両の走行速度の関係、段差通過時のドライバーの意識などを分析し、段差量と通行速度の関係を明らかにする。さらに、既往地震の実態および段差走行実験の結果に基づいて、地震直後の交通止めから通常走行までの段階的な補修基準および車両の種類、車両の走行速度に応じた段階的な交通開放の運用方法を検討する。

## 2. 道路の走行機能および評価の現状

道路盛土と類似の構造物である鉄道盛土<sup>1)</sup>では、L2地震動に対する盛土の変形性は、盛土上面での地震時沈下量が別途に定められた許容沈下量以内であることで照査する。しかし、許容沈下量は計算精度や復旧の難易度、社会的重要性などを勘案して、適宜定めるとされている。そして、盛土および橋台背面部における地震時沈下量と被害復旧の程度の関係について、軽微な被害の目安は、それぞれ沈下量 20cm 未満および沈下差 10cm 未満とされ、応急復旧をしなくともよい被害レベルとされている。

阿部らは<sup>2)</sup>地震時に高架橋の桁間に生じる段差と遊間に着目して車両の走行性を検討している。段差については走行速度と鉛直方向の段差量の関係図を示している。同図では軽自動車、乗用車および大型トラックの車種の違いを考慮しているが、軽自動車を基本として維持・補修の段差の目標値および歩道の縁石の高さ(150mm)とタイヤの断面高さの比から、10km/h、60km/h および 80km/h における段差の許容高さを類推している。これらの比を乗用車および大型トラックに適用して、両車両に対する許容段差量を外挿している。それによると、乗用車の走行速度 0~10km/h における段差の許容高さは 18cm、同 20km/h では 14cm 程度である。また、大型トラックでは走行速度 0~10km/h で 30cm、20km/h で 23cm 程度である。

以上、既往研究においても、特に段差に対する車両の走行機能の評価基準の根拠は明確ではないため、本研究では実車走行に基づいた定量的評価を試みた。

## 3. 地震時の段差被害と交通開放の実態

### (1) 段差量と震度階の関係

2004 年新潟県中越地震(M6.8, 以下、中越地震)において発生した路面段差のデータ<sup>3,4)</sup>によると、気象庁震度階と段差量との関係は図-1 となる。同図は高速道路(北陸自動車道および関越自動車道)および直轄国道で発生した段差量を構造物別(盛土、横断構造物および橋台背面盛土)に整理している。なお、図-1 には大規模なすべり破壊に伴う変形量は含まれていない。同図から、震度階の増加に伴い、段差量が増加することが分かる。

また、表-1 は関越自動車道および北陸自動車道の延長 83.4km における段差量別の発生箇所数および 1km 当たりの発生頻度である。同表から、段差量が 25cm、20cm、15cm、10cm および 5cm を超える段差の発生頻度は、それぞれ 0.37、0.52、0.58、0.72 および 0.79 箇所/km になる。

### (2) 震災後の道路交通開放

#### (a) 2003 年宮城県北部地震における応急復旧と交通規制

2003 年 7 月に発生した宮城県北部地震(M6.4)では、三陸自動車道において段差等の被害が発生し、交通規制が行われた。地震直後の全面通行止めから通常状態に戻

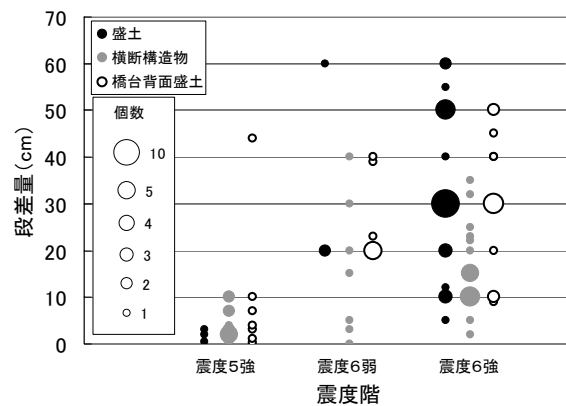


図-1 段差量と震度階の関係(高速道路および直轄国道)

表-1 段差量の発生頻度：関越自動車道・北陸自動車道

| 段差                | 発生箇所数 | 単位延長当り発生箇所<br>(箇所/km) |
|-------------------|-------|-----------------------|
| 0cm < 段差D ≤ 5cm   | 17 箇所 | 0.204                 |
| 5cm < 段差D ≤ 10cm  | 6 箇所  | 0.072                 |
| 10cm < 段差D ≤ 15cm | 12 箇所 | 0.144                 |
| 15cm < 段差D ≤ 20cm | 5 箇所  | 0.060                 |
| 20cm < 段差D ≤ 25cm | 12 箇所 | 0.144                 |
| 25cm < 段差D ≤ 50cm | 21 箇所 | 0.252                 |
| 50cm < 段差D        | 10 箇所 | 0.120                 |

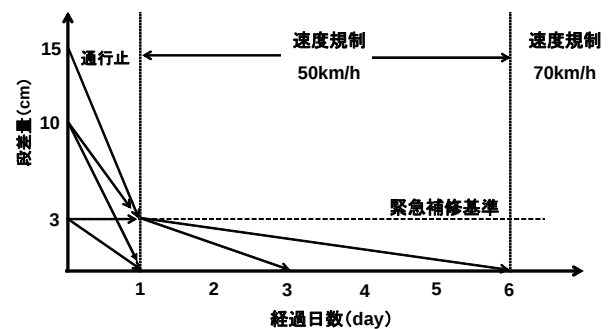


図-2 三陸自動車道における段差量と速度規制による交通開放の経緯(2003年宮城県北部地震)<sup>5)</sup>

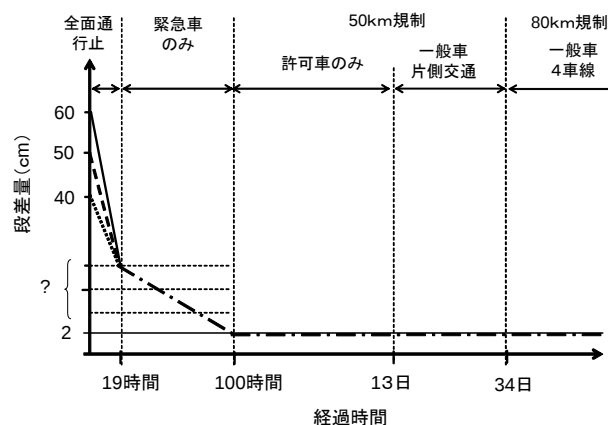


図-3 関越自動車道、北陸自動車道における段差量と速度規制による交通開放の経緯(2004年新潟県中越地震)

るまでの時間経緯は図-2 のように報告されている<sup>5)</sup>。発生した段差量の最大は 15cm と比較的小規模であるが、通行止め後、緊急補修基準(橋梁取り付け部: 2cm、横断構造物: 3cm)を目標として、走行路面の確保のため

の1次応急復旧が行われた。その結果、地震発生の日後に片側交互通行で50km/hを規制速度とした一般車両の通行止め解除が行われている。その後、速度規制なしを目標として2次応急復旧が進められて、地震発生後6日目に70km/hの交通開放が行われた。

#### (b) 2004年新潟県中越地震における応急復旧と交通規制

中越地震では関越自動車道、国道17号などの多数の道路において段差等の被害が発生し、交通止めの規制が行われた<sup>6)</sup>。関越自動車道および北陸自動車道での地震直後の交通止めから規制解除までの経緯は、既往資料<sup>4)</sup>および東日本高速道路(株)に対するヒアリング調査に基づいて図-3として整理できる。同図の60cm、50cmおよび35cmの段差量は、図-1における盛土、橋台背面盛土および横断構造物の段差量の最大値である。

図-3のように、地震直後に全面通行止めの措置がとられ、応急復旧が段階的に実施されたが、第1段階では土のう等により比較的大規模な段差が応急復旧され、地震発生の日19時間後に緊急車両の通行が確保されている。第2段階は簡易な段差すり付けにより比較的中規模な段差が応急復旧され、地震発生の日100時間後に許可車両の50km/h規制走行の水準が確保されている。第3段階では簡易舗装による応急復旧により、地震発生の日13日後に2車線解放で一般車両の50km/h規制走行の水準が確保されている。さらに、第4段階では4車線確保のための簡易舗装による応急復旧により、地震発生の日34日後に2車線解放で一般車両の80km/h規制走行の水準が確保されている。ここで、応急復旧で目標とする段差量は2cmとされているものの、各復旧段階において補修目標とした段差量(図-3の?)は、復旧に従事する現場の判断に拠っているようである。

以上から、緊急車両の通行確保は早い段階において実施されたが、一般車両の通行確保には13日を要しており、この間に高速道路が使用できないことによる社会的影響は甚大であったと推察される。従って、地震直後における車両の走行性を踏まえた段階的な補修水準を明確にし、それに対応した緊急車両および一般車両の段階的な交通開放の運用方法の確立が必要である。

## 4. 段差走行実験

### (1) 概要

地震時に発生する路面段差を模擬した人工段差に対して車両の走行実験を行い、段差通過時の車両の挙動、段差量と車両の走行速度の関係、段差通過時のドライバーの意識などを明らかにする<sup>7)</sup>。

### (2) 実験方法

#### (a) 実験ヤードおよび段差作成

国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所の構内道路を借用して実験を行った。図-4に示す幅8m、延長95mのアスファルト舗装上に3m×15mの模擬段差を施工した。

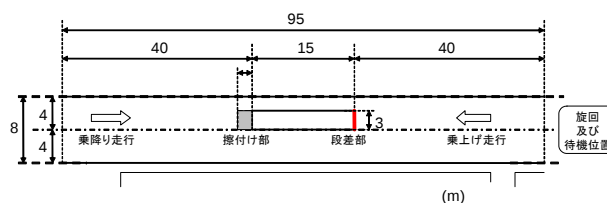


図-4 段差走行実験のための実験ヤードおよび模擬段差



写真-1 模擬段差（段差量20cmの場合）



写真-2 オフロード車  
乗上げ走行



写真-3 4t小型貨物車  
乗降り走行

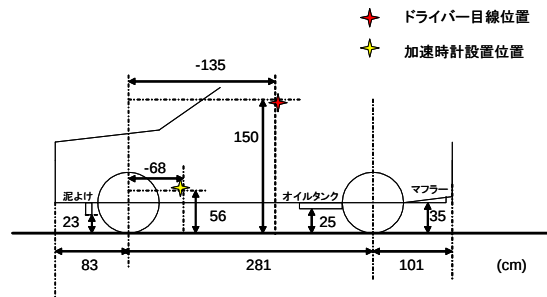
同図の模擬段差の右端は垂直構造とし、左端は1:10のすり付け構造とした。試験車両が図の右方向から左方向に走行し、段差を乗り越える場合が「乗上げ走行」であり、逆方向で段差を下りる場合が「乗降り走行」である。

模擬段差の外周は、段差量の設定の容易性および施工性を考慮して段差量に応じて積み上げる角材とし、タイヤの衝撃に対応するようにアスファルト舗装にコンクリート釘で固定した。角材の枠内は、複数回の走行でも平坦性を確保できるようにAsフィニッシャーにより敷均し、4tVトレーラー転圧によるアスファルト（細粒度As）舗装とした。段差量は5cmから5cmずつ高くし、25cmまでの5段階とした(写真-1)。

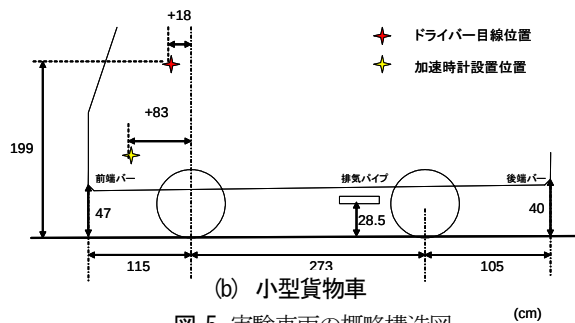
#### (b) 実験車両およびドライバー

実験車両は四輪駆動のオフロード車1台と小型貨物車(4t)1台を使用した(写真-2および写真-3)。また、大型ダンプトラック(10t)は25cmの段差量だけで走行させた。図-5(a)および(b)は、それぞれオフロード車および小型貨物車の概略構造図であり、実験時の実測と写真判読により作成した(大型ダンプトラックは省略)。オフロード車と小型貨物車を比較すると、車高、タイヤ径および前輪と後輪の軸間距離はほぼ同じであり、前輪に対する加速度計の設置位置や運転者の位置、サスペンションの軟硬に差異がある。

被験者(ドライバー)は、オフロード車と小型貨物車は



(a) オフロード車



(b) 小型貨物車

図-5 実験車両の概略構造図

専門ドライバー2名および一般のドライバー2名とし、大型ダンプトラックは専門ドライバー1名とした。ここで、ドライバーの性別、年齢、運転歴および運転頻度を表-2に示す。表中のAとE、BとFおよびCとGは同一人である。なお、オフロード車の25cmの段差走行は、危険防止のために運転に慣れた3人(A、B、C)とした。

### (c) 計測方法

車両が段差を通過する状況を車両の前方、後方および段差の真横の3位置からビデオカメラとデジタルカメラで撮影した。また、段差通過時の実験車両の挙動を把握するため、助手席の床に加速度計を設置した。車両の走行速度（水平方向）はGPS衛星を利用した単独測位の速度計GVS（Global Velocity System）を用いた。同速度計の計測速度帯域は0.1km/h～999.9km/h、計測精度は0.1km/hであり、極く低速にも不感帯が無いこと、取り付けが簡単であるといった特徴がある。

### (d) 意識調査

ドライバーの視覚や車両から伝わる揺れなどを通して、段差がドライバーに与える影響を調査するため、模擬段差通過毎にドライバーの意識調査を行った。調査は表-3に示す3項目について、それぞれ五段階評価とした。

### (e) 走行方法

試験車両は図-1の右側から走行を開始し、模擬段差を乗上げ通過後、停止させた。停止直後にヒアリングにより意識調査をした。その後、車両を方向転換して走行を開始し、模擬段差を乗降り通過後、停止させた。意識調査をした後、次のドライバーと交代させ、車両が変わる場合は、計測器を設置し直して、同様な動作を繰り返した。走行回数については、1つの段差高に対して、各ドライバーは乗上げ、乗降りの往復1回ずつ走行させた。なお、段差の走行方法では、ドライバーの判断により可能な限り速い速度で通過するように指示した。

表-2 ドライバーの特性

|            | ドライバー記号 |         |           | 被験者特性 |    |        |       |
|------------|---------|---------|-----------|-------|----|--------|-------|
|            | オフロード車  | 4t小型貨物車 | 大型ダンプトラック | 性別    | 年齢 | 運転歴(年) | 運転頻度  |
| 被験者(ドライバー) | A       | E       | -         | 男     | 57 | 27     | 毎日    |
|            | B       | F       | -         | 男     | 60 | 42     | 毎日    |
|            | C       | G       | -         | 男     | 42 | 24     | 週3回   |
|            | D       | -       | -         | 男     | 43 | 23     | 週1,2回 |
|            | -       | -       | H         | 男     | 40 | 23     | ほぼ毎日  |

表-3 意識調査の項目

| 評価ランク | 進入前        | 通過後          |            |
|-------|------------|--------------|------------|
|       | 危険感        | 困難さ          | 危険感        |
| 5     | 非常に危険感がある  | 非常に通過が困難     | 非常に危険感がある  |
| 4     | 危険感がある     | 通過が困難        | 危険感がある     |
| 3     | 若干の危険感がある  | やや通過が困難      | 若干の危険感がある  |
| 2     | それほど危険感はない | それほど通過は困難でない | それほど危険感はない |
| 1     | 危険感はない     | 通過は困難でない     | 危険感はない     |

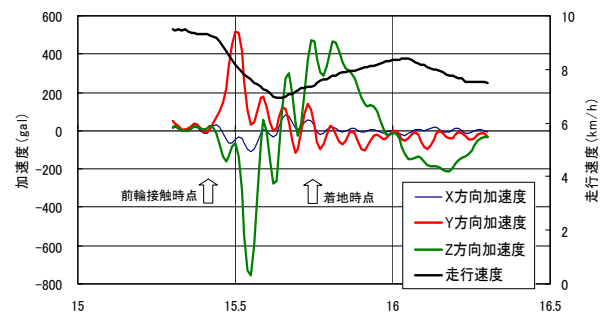


図-6 加速度、速度の時刻歴波形例(乗上げ走行)

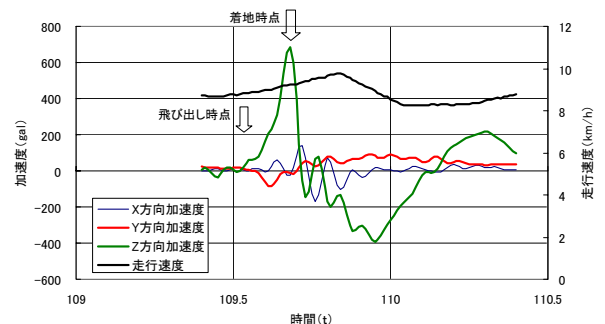


図-7 加速度、速度の時刻歴波形例(乗降り走行)

## (3) 実験結果

### (a) 車両の挙動

実験車両が模擬段差を通過する前後の加速度および速度の時刻歴波形記録のうち、乗上げ走行および乗降り走行について、それぞれ図-6および図-7に例示する。加速度の方向は、水平走行直角方向(x)、水平走行方向(y)向および鉛直方向(z)であり、y方向は走行方向、z方向は上向きがプラス(+)である。ここで、y方向およびz方向の加速度時刻歴波形の変動から、車両(タイヤ)の挙動を描くと、乗上げ走行および乗降り走行について、それぞれ図-8および図-9のように描け、車両の挙動は次のように想定できる。①乗上げ走行：段差に前輪が接触する時点で正のy方向加速度が発生し始め、同時に車両が浮き上がり始めるので負のz方向加速度が発生し始める。車両の運動が上昇から降下に変わる瞬間にz方向は零点となる。そして、前輪が着地した時にz方

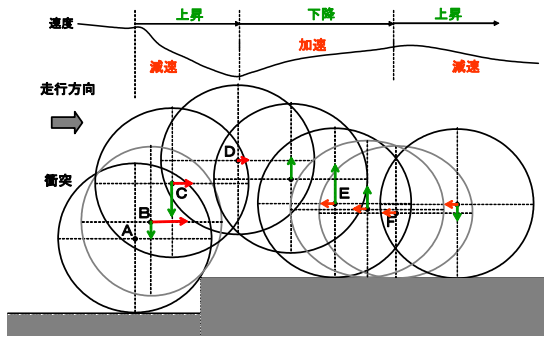


図-8 車両(タイヤ)の軌跡のイメージ(乗上げ走行)

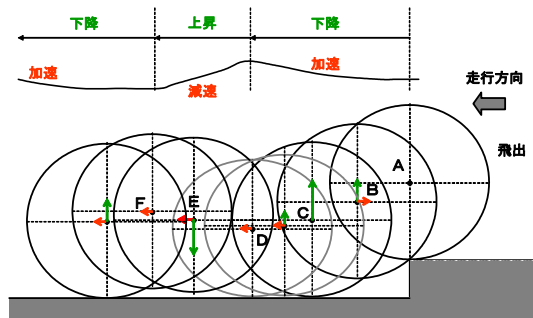


図-9 車両(タイヤ)の軌跡のイメージ(乗降り走行)

向加速度は最大となり、その後車両が最大限沈み込んだ時点で $z$ 方向加速度が正から負に変化する。一方、着地した時にタイヤが路面を捉えるために、加速されることから $y$ 方向に負の加速度が発生する。

②乗降り走行：段差から前輪が飛び出す際に負の $y$ 方向加速度が発生すると同時に、車体は落下を始めるため正の $z$ 方向加速度が発生し、前輪が地面に達すると進行方向に減速するため $y$ 方向加速度は正となる。この時 $z$ 方向加速度は最大となり、その後車両が沈み込み、最大限沈み込んだ時点で $z$ 方向加速度は零となり、負の値に転じる。

#### (b) 段差量と通過速度の関係

車両(タイヤ)が段差に衝突した時点の速度と跳ね上がった車両(タイヤ)が着地した時点の速度の平均値を「通過速度」と定義する。段差量と通過速度の関係について、オフロード車、小型貨物車、大型ダンプトラック別に、それぞれ乗上げ走行、乗降り走行別に整理すると、図-10および図-11となる。

①乗上げ走行：オフロード車、小型貨物車のいずれでも段差量の増加に伴い、通過速度が低下する傾向がある。同一の段差高に対する速度は、段差量5～15cmにおいてオフロード車が小型貨物車より大きい傾向があるが、段差量20～25cmでは差異が無い。オフロード車の場合、段差量5cmでは30km/hを超える速度で通過している場合があり、段差量10cmおよび15cmでは、それぞれ15km/hおよび10km/h程度の速度で通過している。一方、小型貨物車の場合、段差量5cm、10cmおよび15cmについて、それぞれ15km/h、10km/hおよび5km/h程度の速度で通過している。

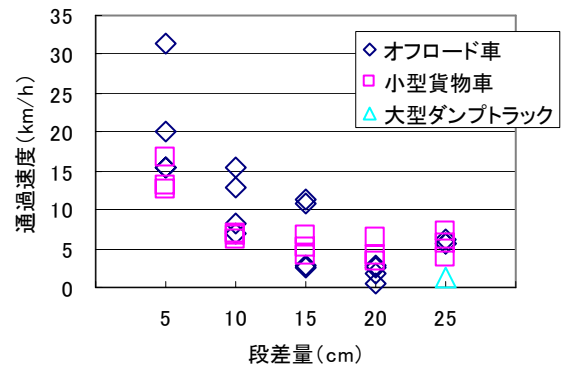


図-10 段差量と通過速度：乗上げ走行

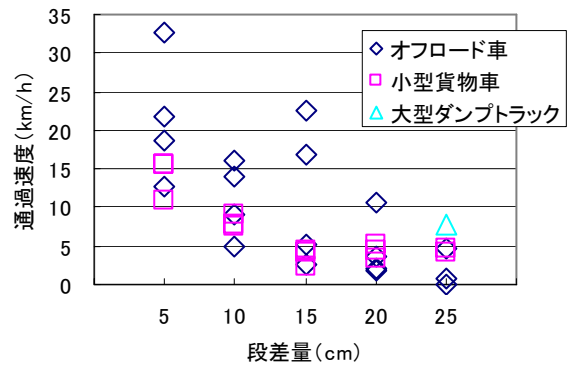


図-11 段差量と通過速度：乗降り走行

②乗降り走行：乗上げ走行と同様に、オフロード車、小型貨物車のいずれでも、段差量の増加に伴い、通過速度が低下する傾向がある。同一の段差量に対する速度は、段差量5～20cmにおいてオフロード車が小型貨物車より大きい傾向がある。オフロード車の場合、段差量5cmでは乗上げ走行と同様に30km/hを超える速度で通過している場合があり、段差量15cmおよび20cmにおいては、それぞれ20km/hおよび10km/h程度の速度で通過している。一方、小型貨物車の場合、乗上げ走行とほぼ類似の傾向を示している。

なお、図-10および図-11において、オフロード車のデータのバラツキが大きい傾向があるが、小型貨物車と比較して走行安定性の高いオフロード車では、走行速度に個人差が出易かったためと思われる。

#### (c) 段差量と加速度の関係

車両(助手席の床位置)の走行方向( $y$ )および鉛直方向( $z$ )の加速度は、前輪が段差に到達した時点から段差通過により発生する車体の振動が落ち着くまでの時間帯における最大値(+)と最小値(-)を抽出した。

段差量と加速度の関係について、オフロード車、小型貨物車別および乗上げ走行、乗降り走行別に整理すると、図-12～図-15となる。同図から、ドライバーの差異によるバラツキは、進行方向の水平加速度は小さく、鉛直加速度は大きい傾向があるが、段差量と加速度の一義的な関係を読み取ることは難しく、概ね以下の通りである。

①乗上げ走行：オフロード車、小型貨物車ともに、正の走行方向および鉛直方向の加速度は、段差量の増加に伴って増加する傾向がある。これは、段差への衝突時および跳ね上がって着地する時点の加速度が大きくなること

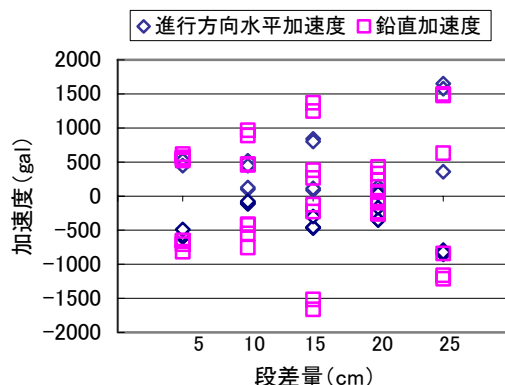


図-12 段差量と加速度：オフロード車・乗上げ走行

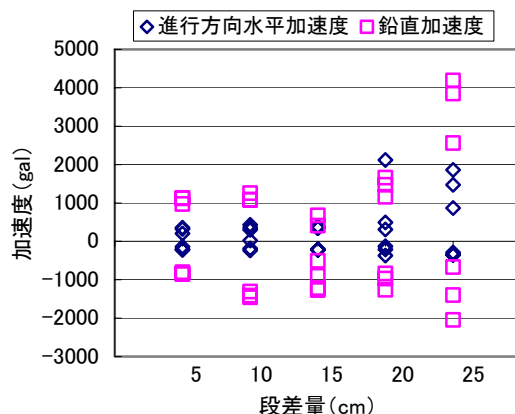


図-13 段差量と加速度：オフロード車・乗降り走行

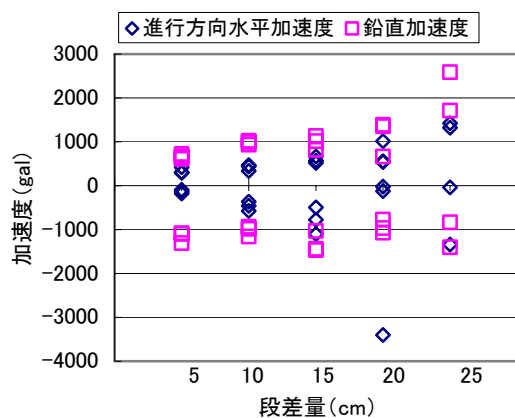


図-14 段差量と加速度：小型貨物車・乗上げ走行

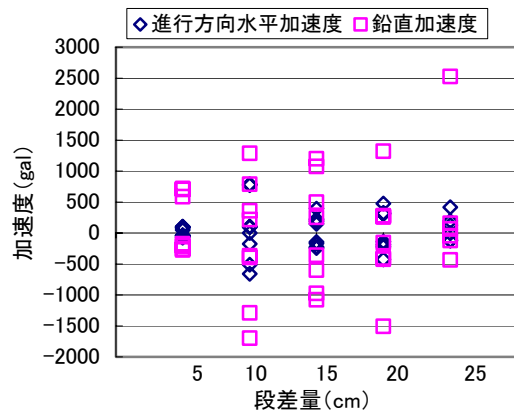


図-15 段差量と加速度：小型貨物車・乗降り走行

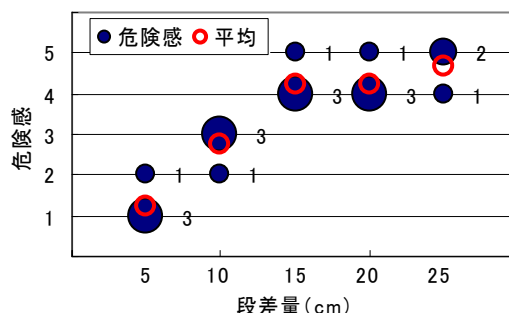


図-16 段差量と危険感（進入前）：オフロード車・乗上げ走行

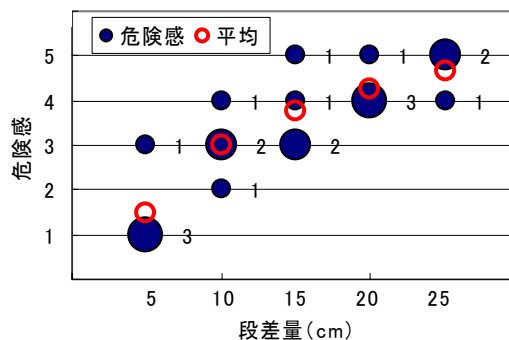


図-17 段差量と危険感（進入前）：オフロード車・乗降り走行

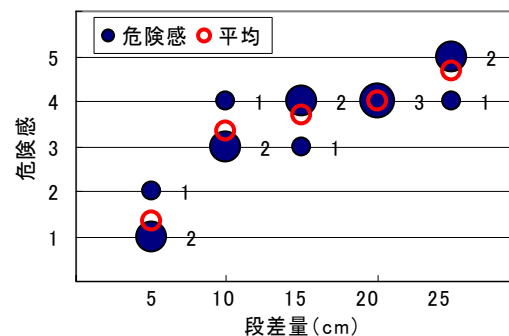


図-18 段差量と危険感（進入前）：小型貨物車・乗上げ走行

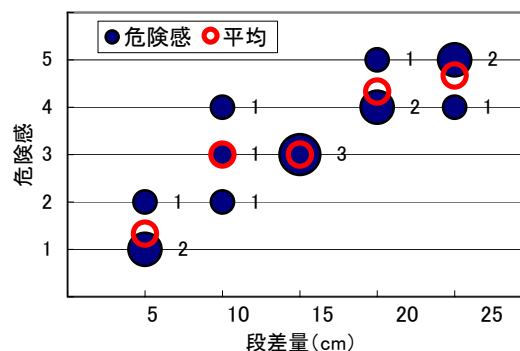


図-19 段差量と危険感（進入前）：小型貨物車・乗降り走行

を意味している。負の走行方向および鉛直方向の加速度では、段差高さとの関係は見られない。また、加速度レベルは、オフロード車と小型貨物車の顕著な差異は見られない。

②乗降り走行：オフロード車、小型貨物車ともに、特に正の鉛直方向の加速度が段差量の増加に伴って増加する傾向がある。これは、車両が段差から落下し、着地直前

で加速度が大きくなることを意味しているので必然である。負の走行方向および鉛直方向の加速度では、乗上げ走行と同様に、段差量との関係は明確でない。また、加速度レベルは、特に段差量 25cm でオフロード車が小型貨物車より大きくなっている。

#### (d) 段差量と危険感の関係

段差量と段差進入前のドライバーの危険感の度数分布を図-16～図-19に示す。図中の数字は被験者の数を示す。オフロード車、小型貨物車あるいは乗上げ走行、乗降り走行のいずれの場合でも、段差量の増加に対応して、進入前の危険感が増す傾向がある。乗上げ走行、乗降り走行のいずれでも、オフロード車(被験者4人)と小型貨物車(同3人)とで顕著な差異は見られないが、全体的にはオフロード車の方が、やや危険感が高い傾向が見られる。また、乗上げ走行と乗降り走行の比較においても顕著な差異は見られないが、全体的には乗上げ走行が乗降り走行よりもやや危険感が高い傾向が見られる。

### 5. 段階的な補修水準および交通運用

前述の3. で調査した実地震における復旧と交通規制の実態によると、地震直後における段差の復旧水準と交通規制の管理運用方法では、以下の2点が課題である。

- ①道路の交通機能(交通量)が完全でなくとも、早い時期に一般車両の通行が確保できること。
- ②段階毎の応急復旧において、段差量の補修水準を明確にすること。

つまり、①については、宮城県北部地震および新潟県中越地震の双方において、常時の規制速度より小さい速度を規制速度として緊急的な交通開放が実施されたが、その規制速度は 50km/h、80km/h といった比較的高い速度であるため、この速度を低く設定できれば、交通開放がより早く実施できると思われる。また、②については、各復旧段階での段差量の補修水準が現場の判断に委ねられている状況に対して、段差量と車両の走行性の関係が定量化されていれば、各復旧段階での補修対象となる段差量が明確になり、効果的かつ迅速な補修が容易となる。

上記の課題解決のために、本研究では4. の段差走行実験の結果(図-10、図-11)に基づいて、大型ダンプ以外は段差量を 5cm、走行速度を 5km/h 単位の数値となるようにして、車両の走行速度に応じて走行可能な段差量の上限値を読み取ることにより図-20を得た。同図は縦軸が段差量、横軸が走行速度であり、車両の走行速度に応じて走行できる段差量の上限値を示す。

さらに、図-20において、乗上げ走行と乗降り走行のいずれかの下限值に着目して、車両の種類および走行速度に応じて、車両の走行可能な段差量の上限値を想定すると図-21が得られる。同図の横軸は車両を通行させる規制あるいは管理の対象分類であり、小型車と大型車に区分するとともに、それぞれを緊急車両と一般車両に区分したが、実験車両と実車両の関係は、次のように対応

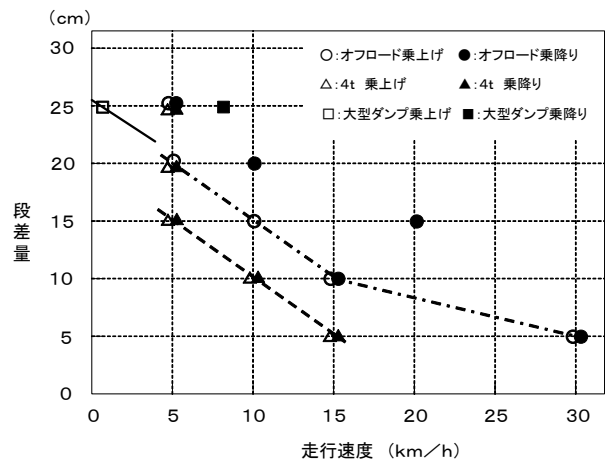


図-20 走行速度と段差量(上限値)の関係

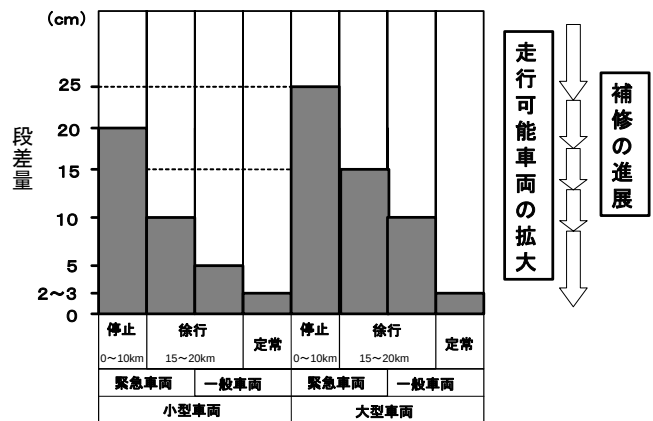


図-21 規制速度、走行速度と可能走行段差量(上限値)の関係

付けた。

- ①オフロード車(四輪駆動)＝小型緊急車両(パトロール車、救急車など)
- ②小型貨物車(二輪駆動)＝小型一般車両(乗用車、小型貨物車など)
- ③大型ダンプトラック＝大型緊急車両(大型消防車両等)または大型一般車両(大型バス、大型貨物車等)

さらに、段差走行実験に基づいて、走行速度が 0～10km/h 程度の場合を「停止走行」、15～20km/h 程度の場合を「徐行走行」および 50～80km/h といった場合を「通常走行」に区分した。

ここで、走行可能あるいは補修の目標となる段差量について、「定常走行」では小型車、大型車に拘わらず、宮城県北部地震および新潟県中越地震において緊急補修水準とされた段差量の 2～3cm とする。また、「停止走行」とは段差を通過する際に一旦停止し、ゆっくりと乗上げるあるいは乗降りるようにして段差を通過走行する場合を意味し、本研究による段差走行実験に基づいて、小型緊急車両の場合は段差量 20cm、大型緊急車両の場合は同 25cm を上限と想定した。

さらに、「徐行走行」では段差走行実験に基づいて、小型緊急車両の場合は段差量 10cm、小型一般車両の場合は同 5cm を上限と想定した。また、大型車の場合は小型

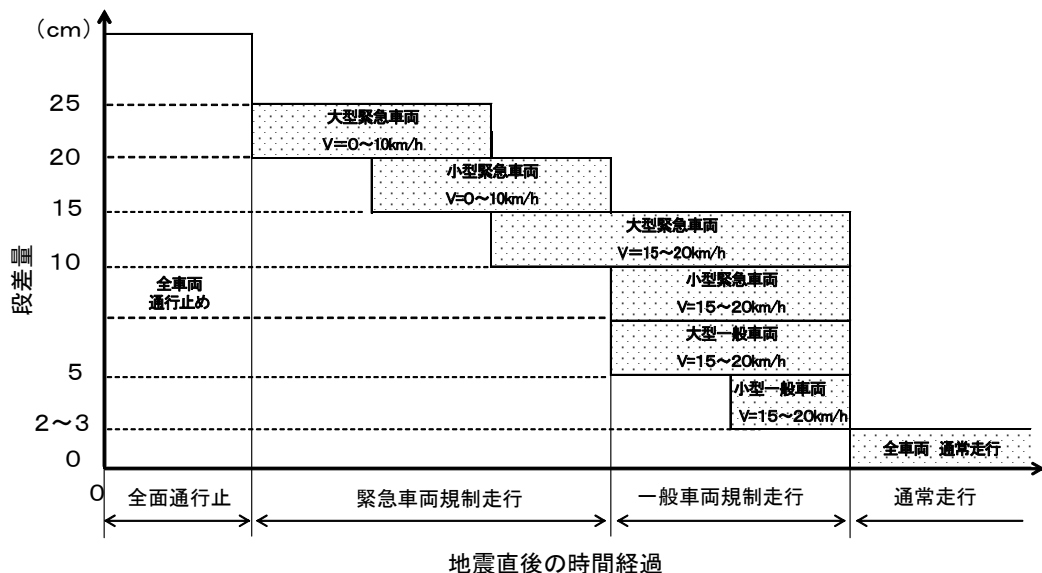


図-22 段階的な補修および交通開放の運用の流れの概念

車よりも大きい段差量を上限とすることができるが、段差走行実験で唯一実施した大型ダンプトラックでは、「停止走行」において25cmの段差量で通行が可能であったことから、小型車の上限値の低減傾向と類似と見なし、大型緊急車両および大型一般車両について、それぞれ15cmおよび10cmを上限と想定した。

図-21 から分かるように、一般的に段差量が多いほど、段差の発生頻度あるいは箇所が少ないことから、応急復旧に要する時間も短くなるので、これらの段差の応急復旧に交通開放までの時間を短縮できることになる。また、補修の進展(補修水準の低下)に伴って、走行が可能な車両が拡大することになる。

さらに、図-21 によれば、緊急車両および一般車両に対して、段差量の補修水準に対応した車両の走行速度の設定、あるいは交通開放する車両に対応した段差量の補修水準の設定が可能となる。例えば、小型緊急車両を15~20km/h程度の徐行速度で交通開放するためには、応急復旧に際しての補修対象の段差量は10cm以上にすればよいことになる。

そして、被災直後における段差被害による交通止めに対して、段差の補修水準の変化に伴う緊急車および一般車の暫定的、さらに定常的な交通開放の流れの概念は図-22のように想定できる。同図の段差量と車両の走行条件によれば、地震直後の交通規制、交通開放あるいは段階的な応急復旧の水準が設定でき、迅速な車両の交通開放が可能となる。このような段差量(=被害レベル)に応じて通行が可能な車両の種類あるいは走行速度を考慮した交通運用は、道路に要求される機能を踏まえた性能規定型の管理とも言うことができる。

## 6. まとめ

本研究の結果以下の知見が得られた。

1) 2004年新潟県中越地震による高速道路において、段差量が25cm、20cm、15cm、10cmおよび5cmを超える段差の発生頻度は、それぞれ0.37、0.52、0.58、0.72および0.79箇所/kmである。これらは段階的な補修において対象となる段差量の頻度を把握する際の参考になる。

2) 模擬段差を走行させる実車両の段差走行実験により、段差を通過する車両の挙動を明らかにするとともに、段差量と段差通過速度の関係、段差量と車両の応答加速度の関係および段差走行に対するドライバーの意識の特性を定量的に評価した。

3) 小型(緊急・一般)車両および大型(緊急・一般)車両に相当する車両について、停止的速度(0~10km/h)および徐行速度(15~20km/h)に対する段差量の上限値を図-21として提示した。

4) 車両の走行性を考慮した段差量の補修水準と、それに基づく段階的な交通開放の運用の概念を図-22で示し、同図により性能規定型の道路管理の方向性を示した。

**謝辞：**本研究は国土交通省道路局新道路技術会議の研究助成「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」により実施された。また、段差走行実験では実験ヤードの借用で国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所、速度計測でバイオシステム(株)の協力を得た。さらに、2004年新潟県中越地震における国道17号の被害および復旧に関する資料収集は国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所、また、2004年新潟県中越地震における高速道路の被害に関する資料収集は東日本高速道路(株)新潟支社の協力を得た。本研究の実施に対して御支援、御協力を頂いた関係機関および関係者の皆様に厚く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、丸善(株)、平成11年10月

- 2) 阿部雅人・藤野陽三・吉田純司・朱平：高架橋の 3 次元動的解析モデルを用いた桁間連結装置および車両通行性の評価, 土木学会論文集, No. 773/ I, pp. 47-61, 2004. 10
- 3) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所の資料
- 4) 東日本高速道路(株)新潟支社の資料
- 5) (社)地盤工学会・土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会：土構造物の地震時における性能設計法の現状と今後の展望, 第 41 回地震工学研究発表会デ  
(2007.4.6 受付)
- イスカッションセッション資料, 2006. 7
- 6) 常田賢一・小田和広・鍋島康之・江川祐輔：新潟県中越地震における道路施設の被害水準と道路機能の特性, 土木学会地震工学論文集, Vol. 28, No. 009, pp. 1-9, 2005. 8
- 7) 依藤光代・常田賢一・小田和広：地震時の路面の段差規模の評価に関する走行実験, 平成19年土木学会関西支部研究発表会, I -21, pp. 1-2, 2007. 5

## PERFORMANCE-BASED ROAD MANAGEMENT AGAINST BUMP DAMAGE INDUCED BY EARTHQUAKE BASED ON DRIVING TEST

Ken-ichi TOKIDA, Kazuhiro ODA, Akinori NAKAHIRA, Kenji HAYASHI  
and Mitsuyo YORIFUJI

Highway networks were blocked by such damage as bumps induced by earthquakes. To reopen the blocked roads rapidly, it's necessary to repair them rapidly and effectively considering the traffic performance of roads. In this study, driving tests using three types of vehicles running through bumps made artificially on the test road have been conducted. Considering the actual road management and based on the driving test results, the relationship between bump levels and velocity of vehicles running through bumps considering the types of vehicles are clarified quantitatively and proposed for the performance-based road management just after an earthquake.