

# レーダー・アメダス解析雨量の高速道路 通行規制基準への適用性に関する基礎研究

BASIC RESEARCH ON APPLICABILITY OF THE EXPRESSWAY-  
TRAFFIC REGULATION STANDARD OF THE PRECIPITATION

櫻谷 慶治<sup>1</sup>・窪田 上太郎<sup>2</sup>・小泉 圭吾<sup>3</sup>・小田 和広<sup>4</sup>

Keiji SAKURADANI, Shoutaro KUBOTA, Keigo KOIZUMI and Kazuhiro ODA

<sup>1</sup>西日本高速道路株式会社関西支社 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-8 テクノアライアンス棟 B305)

E-mail: k.sakuradani.aa@jrl.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup>大阪大学 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

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

<sup>3</sup>大阪大学大学院 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

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

<sup>4</sup>大阪大学大学院 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

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

**Key Words:** radar-raingauge analyzed precipitation, expressway, traffic regulation, slope disaster;

## 1. 研究背景と目的

西日本高速道路株式会社(以下 NEXCO)が管理する高速道路は、供用延長の約7割を土工区間が占めており、降雨による斜面災害の事前予測や対策が重要な課題とされている。

NEXCO では、降雨斜面災害に通行車両が巻き込まれないよう、高速道路沿線に設置した雨量計で観測される雨量をもとに、速度規制や通行止めといった通行規制を実施している。しかし、近年その増加傾向が指摘されている短時間豪雨や局地的豪雨に対して、既存の雨量計による観測だけでは、災害を引き起こすような降雨を見逃してしまうなどの懸念がある。雨量計の大幅増設が単純な対応方法ではあるが、そこに要するコスト、労力を鑑みると現実的ではない。そこで著者らは、国交省から提供されているレーダー・アメダス解析雨量(以下解析雨量)を既存雨量計で観測される雨量と同様に通行規制実施の判断に活用することを検討している。本稿では、過去に観測された雨量と、同エリア同時刻における解析雨量とを比較し定量的な評価を行うとともに、高速道路における通行規制判断へ活用するための基

礎的な分析を行った。

## 2. 高速道路の降雨通行規制基準について<sup>1)</sup>

高速道路においては、昭和43年に発生した一般国道41号飛騨川バス転落事故を契機に、異常降雨時の交通の危険が予想される場合に、事前通行規制を実施することとした。当初は、図-1に示す日本道路公団の各支社・局毎に降雨状況や災害等を勘案し設定を行って



図-1 日本道路公団支社局 (平成17年9月)

たが、平成 13 年に全国統一の基準値策定方針が定められ、同方針に基づいて基準値の再設定がなされ現在に至っている。

基準運用に使用している主なものは、高速道路沿線に設置された自社管理の雨量計で観測される降雨量と、契約気象会社から提供される気象予測である。観測される降雨量が一定の基準値を超過した場合に通行止めを実施し、また、災害が発生せず、一定期間(6 時間以上)無降雨(2mm/h以下)の気象予測があり、パトロールによる路面の安全が確認された場合に通行止めを解除することとしている。ここで、通行止め実施判断に用いる基準値は、大きく分けて連続雨量によるものと、一定の連続雨量以上における時間雨量によるもの(組合せ雨量)との2つがある。表-1 に観測される降雨の例を、図-2に横軸に連続雨量、縦軸に時間雨量をとり、表-1 で示した降雨の履歴図(以下スネーク曲線)を示すとともに、通行規制基準値の例も併記した。

表-1 降雨の例

降雨履歴			降雨履歴		
時間	時間雨量	連続雨量	時間	時間雨量	連続雨量
0~1	0.0	0.0	11~12	2.0	168.0
1~2	0.0	0.0	12~13	5.0	173.0
2~3	0.5	0.5	13~14	2.0	175.0
3~4	20.0	20.5	14~15	15.0	190.0
4~5	66.0	86.5	15~16	45.0	235.0
5~6	24.5	111.0	16~17	26.0	261.0
6~7	35.5	146.5	17~18	10.0	271.0
7~8	10.5	157.0	18~19	1.0	272.0
8~9	3.5	160.5	19~20	2.0	274.0
9~10	2.5	163.0	20~21	4.0	278.0
10~11	3.0	166.0	21~22	1.0	279.0

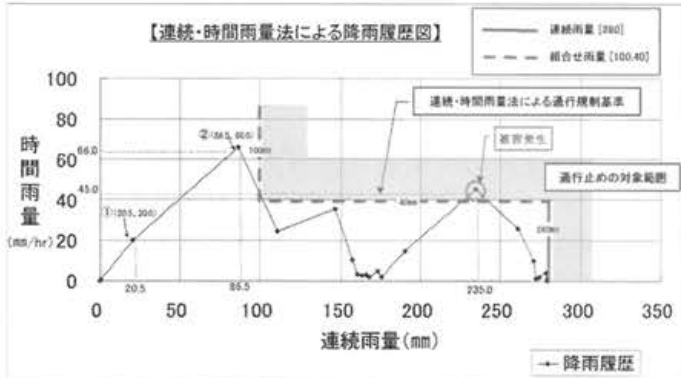


図-2 降雨履歴図

スネーク曲線が基準値を超過した時点で通行止めを実施できるよう、現場では雨量データをモニタリングしている。雨量計の設置間隔は、区間による違いはあるものの、概ね 8kmに 1 箇所設置されている。基準値は、過去に観測された実際の降雨から一般的な確率手法である岩井法により確率雨量を算出し、過去の被災履歴や供用後年数などの各区間の特性を考慮し設定されている。

### 3. 解析雨量について<sup>2)</sup>

気象情報を把握するため、気象庁は全国に 1,300 箇

表-2 解析雨量の提供値(代表値)

代表値	解析値	幅
-1		(不明)
0	0 ≤ ≤ 0.1	(無降水)
0.4	0.2 ≤ ≤ 0.8	
1	0.9 ≤ ≤ 1.4	
2	1.5 ≤ ≤ 2.4	
:	:	
77	76.5 ≤ ≤ 77.4	
80	77.5 ≤ ≤ 82.4	
85	82.5 ≤ ≤ 87.4	
:	:	
125	122.5 ≤ ≤ 127.4	
130	127.5 ≤ ≤ 134.9	
140	135.0 ≤ ≤ 144.9	
:	:	
200	195.0 ≤ ≤ 204.9	
255	205.0 ≤	

所余りのアメダスと 20 箇所の気象レーダーを整備している。防災に資する降雨量を把握するためには、アメダスによる実測雨量データのみでは全容把握が困難なため、レーダー雨量をアメダス雨量で補正し、全国を 5km×5kmの格子に区切って降雨量を算出する解析雨量の運用が平成 3 年から開始された。その後、面的、時間的に分解能が高められ、平成 18 年からは 1km×1kmの格子で提供されるようになった。平成 20 年 3 月からは、全国に 26 サイトある全ての国交省レーダー雨量データの解析への利用が開始され、また、解析技術そのものの向上などにより、精度向上が図られている。

解析雨量は 30 分毎に、直前の 60 分間累積雨量を算出、提供されている。なお、その値は表-2 に示すように代表値として提供されている。

### 4. NEXCO 観測雨量と解析雨量の比較

#### (1) 概要

解析雨量について、気象庁は「アメダス雨量と同程度の精度を持った地上雨量を求めたもの」としている。<sup>2)</sup>また、既往の文献において、解析雨量と地上観測雨量を比較し、降水観測時の 80%以上のデータが 1mm/h以内の差になった<sup>3)</sup>との報告もある。概ね実測データと同等と言われる解析雨量ではあるが、場所による違いや、梅雨前線による長雨や積乱雲による局所豪雨など、降雨パターンによる違いがあることも容易に想像できる。そこで、それら特性を把握するため、NEXCOが管理する高速道路沿線で観測された雨量と解析雨量を、同エリア同時刻において比較した。

#### (2) 比較方法

NEXCOが管理する実際の高速道路の一路線を代表路線として選定し、比較を行うこととした。代表路線の延長は約 123km、15 箇所に雨量計が設置されており、同路線が通過する解析雨量エリアである 1kmメッシュの数は 143 メッシュである。図-3 に、代表路線と雨量計の

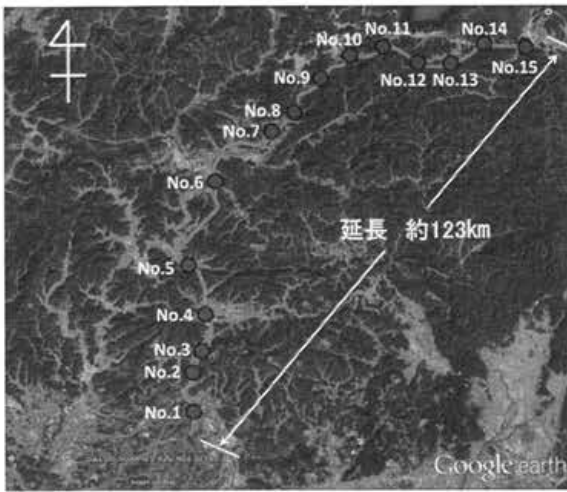


図-3 代表路線と雨量計の位置関係図

位置関係を示した。

NEXCOの雨量計が設置されている箇所と同一メッシュで提供される解析雨量について、雨量計の実測値との比較を行った。比較には、平成20年度から平成25年度までの6年間の正時における時間雨量データを使用しているが、実測値が欠損している時間、及び明らかな異常値を示している時間については比較の対象外とした。

### (3) 比較結果

#### a) 相関関係について

NEXCO雨量計が設置されている全15メッシュにおける6年間の時間雨量に関し、横軸を実測雨量、縦軸を同時刻の解析雨量としてプロットした。年度別で表したものが図-4、降雨強度別に表したものが図-5である。同データから算出した相関係数を表-3及び表-4に示す。

両表では、全データを対象とすると、相関係数0.8以上という高い相関が示されており、年度による大きな違いや、上昇、低下といった傾向は見られない。また、降雨強度別に見ると、強度が大きくなるにつれ、相関係数が著しく低下していることが分かる。相関係数の場所別年度別の推移を図-6に、場所別降雨強度別の違いを図-7に示した。上述の傾向が顕著に確認できる。なお、

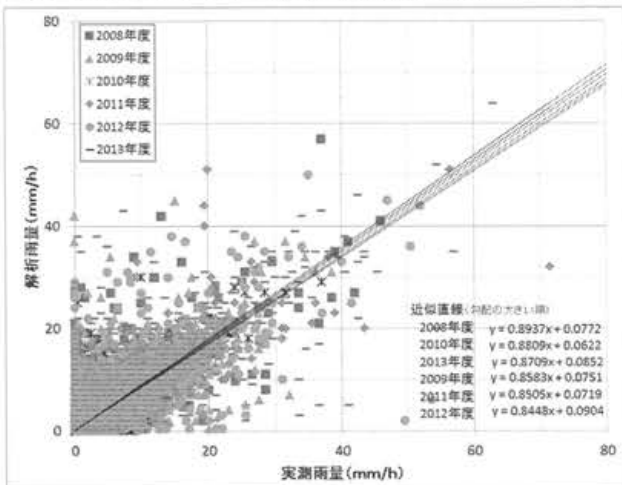


図-4 年度別相関関係

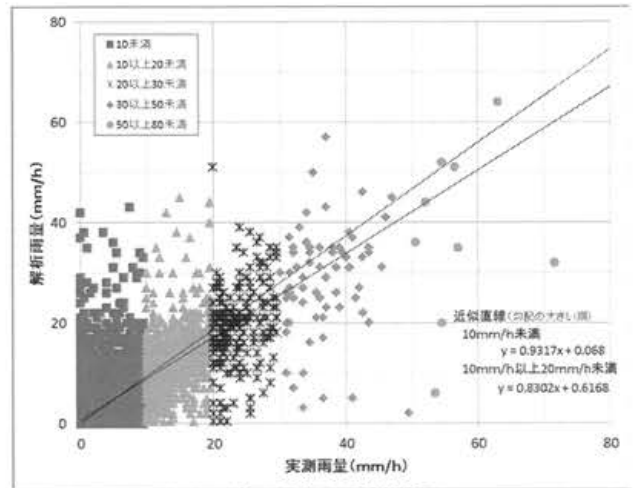


図-5 降雨強度別相関関係

表-3 年度別相関係数一覧 表-4 降雨強度別相関係数一覧

全15箇所データ			全15箇所データ		
年度	相関係数	データ数	mm/h	相関係数	データ数
2008年度	0.8009	71,683	10未満	0.7904	581,588
2009年度	0.8370	86,378	10以上20未満	0.4180	1,267
2010年度	0.8836	86,012	20以上30未満	0.2585	236
2011年度	0.8859	87,775	30以上50未満	0.1441	66
2012年度	0.8354	129,154	50以上80未満	0.1831	9
2013年度	0.8663	122,164	80以上	—	0
全年度	0.8548	583,166	全強度	0.8548	583,166

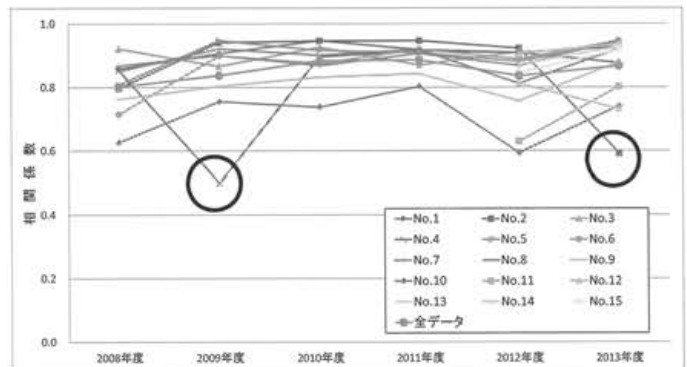


図-6 場所別相関係数 年度推移

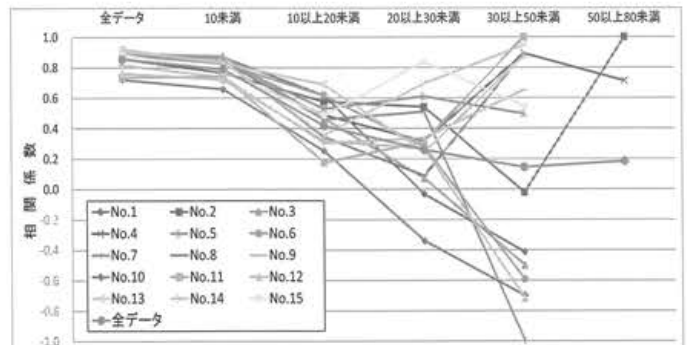


図-7 場所別降雨強度別 相関係数

表-5 2009年度月別相関係数 (No. 4)

	相関係数	データ数		相関係数	データ数
4月度	—	30	10月度	0.8668	735
5月度	0.7886	740	11月度	0.9400	720
6月度	0.6292	716	12月度	0.7854	741
7月度	0.4337	743	1月度	0.8853	742
8月度	0.3350	743	2月度	0.9451	672
9月度	0.7010	709	3月度	0.7451	742
			全月度	0.4995	8,033

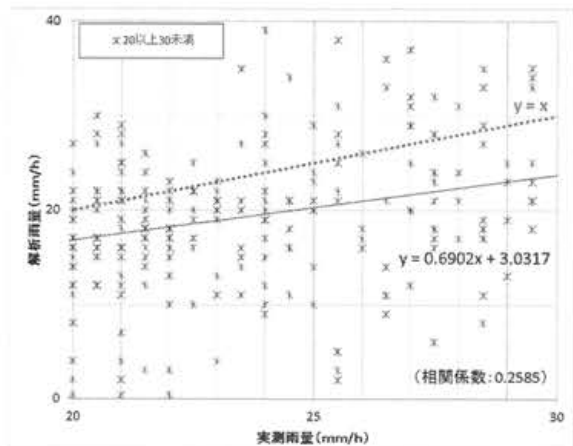


図-8 雨量区分別表示 (20mm/h以上30mm/h未満)

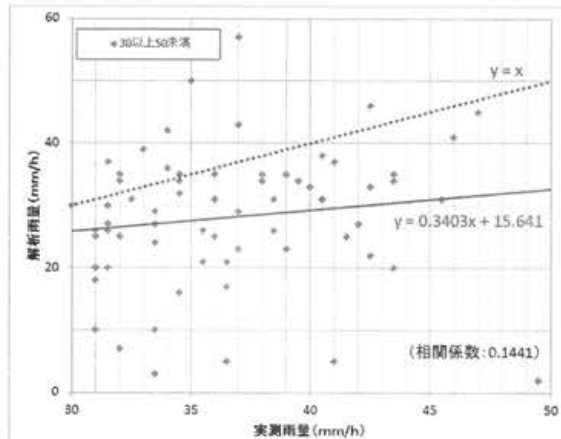


図-9 雨量区分別表示 (30mm/h以上50mm/h未満)

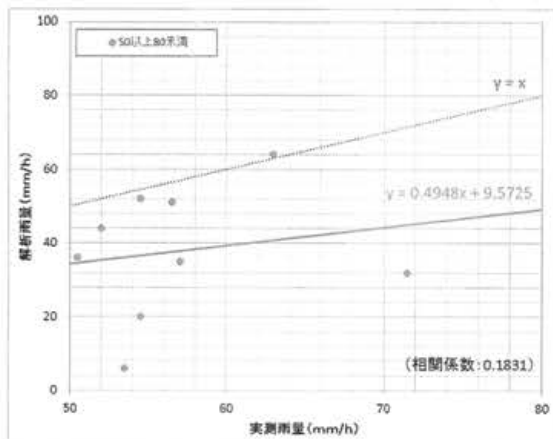


図-10 雨量区分別表示 (50mm/h以上)

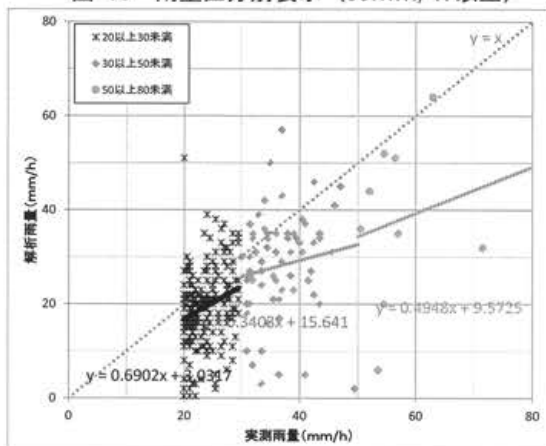


図-11 雨量区分別表示 (20mm/h以上まとめ)

年度別にみた場合、No.10については、他の箇所よりほぼ全ての年で相関が低く、図中マーキングしているNo.4の2009年度や、No.2の2013年度のように、特定の年度の相関係数が低くなっている箇所も確認された。2009年度のNo.4のデータを確認すると、表-5に示すように、特に7月度8月度の相関係数が低くなっていることが分かる。更にデータを細かく見ると、短時間高強度の降雨時の誤差が影響したものであると思われる結果も得られたが、その誤差の発生原因に関する考察は、今後の研究課題である。

相関係数が低くなっている降雨強度の大きい部分(実測雨量20mm/h以上部分)について、表示範囲を気象庁が定義する雨量区分毎に分けて図-8から図-10に示し、また、図-11にそれらをまとめて示した。個別の点で比較すると、その差は大きく見えるが、幅をもたせて比較すると一定の相関性があるように見える。その定量的な評価は、今後、分析を進める。

#### b) 雨量差について

次に、同一時刻における雨量差の分布を確認した。表-6に示すように、場所毎の全正時データを並べ、実測雨量と解析雨量の差を求めた。ここでの差は、解析雨量から実測雨量を引いたものであり、差がプラスとなるのは解析雨量が実測雨量より大きいことを意味する。各雨量差のデータ数と、差とデータ数を掛け合わせた値を集計したものが表-7であり、年度別に集計したものが表-8である。全年度において98%以上のデータが±1mm/h以内の差に入っていることが分かる。誤差が非常に小さいことを示しているが、無降雨時のデータをカウントすることにより過大評価していることが懸念されるため、実測雨量が0mm/hであった時間帯を省いて再集計を行った。結果を表-9に示す。先ほどより値は低下するものの、80%以上のデータは1mm/h以内の差に収まっていることが確認できる。ここに示していない他の14箇所においても同様の集計を行ったが、多少の違いがあったものの同様の結果を確認した。

表-7において雨量差の累積に着目すると、圧倒的に解析雨量の値が大きいことが確認できる(+2,511.0mm)。これは小さい誤差が多数積み重なったことによる影響が大きい。例えば、同表の0.4mm解析雨量の方が大きいデータ数は4,873であり、その合計雨量は1,949.2mmにもなる。6年間の累積雨量差が2,511.0mmであることに対して、いかに影響が大きいかが分かる。解析雨量が0.4mm/hを示した時間における実測雨量を全年度全箇所集計したものを表-10に示す。同表から8割近くは実測値が0mm/hであることが分かる。これらを踏まえると、解析雨量を実測雨量に近づけるため0.4mm/hの解析雨量値を0.0mm/hに置き換えるという方法が考

表-6 雨量差の分布 (No. 5)

年/月/日	時刻	実測雨量		解析雨量		(解析)-(実測)	
		時間雨量	累積雨量	時間雨量	累積雨量	時間雨量差	累積雨量差
2008/04/01	00:00	2.5	2.5	2	2.0	-0.5	-0.5
2008/04/01	01:00	0	2.5	1	3.0	1.0	0.5
2008/04/01	02:00	0.5	3.0	0.4	3.4	-0.1	0.4
2008/04/01	03:00	0	3.0	0	3.4	0.0	0.4
2008/04/01	04:00	0	3.0	0	3.4	0.0	0.4
2008/04/01	05:00	0	3.0	0	3.4	0.0	0.4
2008/04/01	06:00	0	3.0	0	3.4	0.0	0.4
2008/04/01	07:00	0	3.0	0	3.4	0.0	0.4
2008/04/01	08:00	0.5	3.5	1	4.4	0.5	0.9
2008/04/01	09:00	0	3.5	0.4	4.8	0.4	1.3
2008/04/01	10:00	0	3.5	0.4	5.2	0.4	1.7
2008/04/01	11:00	0	3.5	0.4	5.6	0.4	2.1
2008/04/01	12:00	0	3.5	0.4	6.0	0.4	2.5
2008/04/01	13:00	0	3.5	0	6.0	0.0	2.5
2008/04/01	14:00	0	3.5	0.4	6.4	0.4	2.9
2008/04/01	15:00	0	3.5	0.4	6.8	0.4	3.3
2014/03/31	18:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0
2014/03/31	19:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0
2014/03/31	20:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0
2014/03/31	21:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0
2014/03/31	22:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0
2014/03/31	23:00	0	9,113.0	0	11,624.0	0.0	2,511.0

表-7 雨量差データ数集計 (No. 5/全年度計)

差 (D)	データの個数 (N)	(D) × (N)
-12.0	2	-24.0
-9.5	1	-9.5
-9.0	1	-9.0
-8.5	3	-25.5
-7.5	1	-7.5
-7.1	1	-7.1
-7.0	4	-28.0
-6.5	1	-6.5
-6.0	4	-24.0
-5.5	2	-11.0
-5.0	9	-45.0
-4.5	6	-27.0
-4.0	5	-20.0
-3.5	16	-56.0
-3.0	15	-45.0
-2.6	2	-5.2
-2.5	31	-77.5
-2.1	2	-4.2
-2.0	44	-88.0
-1.6	13	-20.8
-1.5	80	-120.0
-1.1	46	-50.6
-1.0	207	-207.0
-0.6	218	-130.8
-0.5	728	-364.0
-0.1	1,060	-106.0
0.0	41,975	0.0
0.4	4,873	1,949.2
0.5	803	401.5
1.0	509	509.0
計	51,031	2,511.0

±1%以内データ数率 98.71%

表-8 雨量差 年度別集計 (No. 5)

年度	データ数	累積雨量差	±1以内率
2008年度	7,316	378.6	98.74%
2009年度	8,706	420.2	98.98%
2010年度	8,749	478.5	98.77%
2011年度	8,777	497.3	98.15%
2012年度	8,758	408.7	99.00%
2013年度	8,725	327.7	98.64%
全年度計	51,031	2,511.0	98.71%

表-9 雨量差 年度別集計 (実測ゼロ除く) (No. 5)

年度	データ数	累積雨量差	±1以内率
2008年度	629	3.6	86.96%
2009年度	749	-47.4	89.59%
2010年度	765	49.9	87.71%
2011年度	925	56.5	84.65%
2012年度	673	-23.7	88.26%
2013年度	838	-25.1	87.11%
全年度計	4,579	13.8	87.27%

表-10 解析雨量 0.4mm/h時における実測雨量の分布

実測雨量値 (mm/h)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0以上	総計
データ数	59,142	12,907	3,380	992	387	156	165	77,129
率	76.7%	16.7%	4.4%	1.3%	0.5%	0.2%	0.2%	100.0%

えられる。年度別箇所別に累積雨量を集計しNo.5の結果を表-11に示した。0.4mm/hの解析値を0.0mm/hに

置き換え比較し直した結果が表-12である。どの年度においても大幅に実測値との差が小さくなっていることが分かる。

c) 基準超過降雨イベントについて

時間雨量、累積雨量について解析雨量の特徴をみてきたが、ここでは降雨イベントとしての比較を行う。現行の通行規制基準値を超過する降雨イベントに着目し、同イベントにおける基準超過時刻や解除(降雨リセット)時刻等について比較を行った。6年間×15箇所のデータの中で、実測雨量、もしくは解析雨量が基準を超過したイベントは24イベントであった。

24イベント中、実測、解析ともに基準を超過していたのは16イベントであった。図-12に、その代表的なスネーク曲線を示す。実測雨量と解析雨量が、ほぼ同じような降雨履歴で基準を超過していることがわかる。なお、16イベントの基準超過時刻を表-13にまとめた。約半数が同じ時刻に基準を超過しており、平均すると、実測雨量に対して解析雨量の超過時刻が約40分遅れていることが分かった。また、リセット時刻についてはほとんどのイベントで同時刻であったが、1事例のみ8時間解析雨量が早くリセットされるイベントがあった。

24イベント中5イベントは、実測雨量で基準を超過したものの、解析雨量では基準を超過しなかった。代表的なスネーク曲線を図-13に示す。この場合、仮に解析雨量で通行規制実施判断をしていた場合、危険な降雨を見逃していたことになる。5イベント中3イベントは、解析雨量で途中無降雨状態があり連続雨量がリセットされていることが確認された。図-14に示す時刻歴からその

表-11 年間累積雨量比較 (No. 5)

年度	a)解析雨量(mm)	b)実測雨量(mm)	差 a) - b) (mm)
2008	1,622.6	1,244.0	378.6
2009	1,990.2	1,570.0	420.2
2010	1,847.0	1,368.5	478.5
2011	2,387.8	1,890.5	497.3
2012	1,679.2	1,270.5	408.7
2013	2,097.2	1,769.5	327.7
計	11,624.0	9,113.0	2,511.0

表-12 年間累積雨量比較 (0.4mm/h→0.0mm/h置換後)

年度	a)解析雨量(mm)	b)実測雨量(mm)	差 a) - b) (mm)
2008	1,273.0	1,244.0	29.0
2009	1,493.0	1,570.0	-77.0
2010	1,431.0	1,368.5	62.5
2011	1,939.0	1,890.5	48.5
2012	1,256.0	1,270.5	-14.5
2013	1,746.0	1,769.5	-23.5
計	9,138.0	9,113.0	25.0

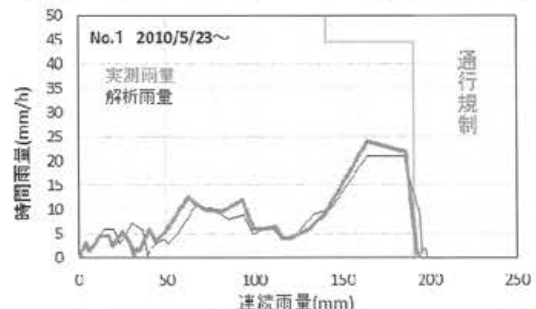


図-12 スネーク曲線 (実測・解析ともに基準超過の例)

表-13 基準超過時刻一覧

事例	箇所No	年/月/日	基準超過時刻		時間差		降雨リセット時刻		時間差	
			実測雨量	解析雨量	解析値-実測値	実測雨量	解析雨量	解析値-実測値		
1	1	2010/5/24	10時	10時	0時間	17時	17時	0時間		
2	4	2013/9/16	2時	3時	1時間	15時	15時	0時間		
3	5	2013/9/16	3時	3時	0時間	15時	15時	0時間		
4	6	2013/9/16	3時	3時	0時間	18時	18時	0時間		
5	7	2011/5/30	3時	6時	3時間	14時	14時	0時間		
6	7	2013/9/16	3時	2時	-1時間	18時	18時	0時間		
7	8	2013/9/16	2時	4時	2時間	18時	18時	0時間		
8	9	2011/5/30	0時	4時	4時間	14時	14時	0時間		
9	9	2013/9/16	1時	3時	2時間	19時	18時	-1時間		
10	10	2011/5/30	2時	1時	-1時間	15時	15時	0時間		
11	10	2011/9/22	7時	7時	0時間	21時	13時	-8時間		
12	10	2013/9/16	1時	2時	1時間	19時	19時	0時間		
13	11	2013/9/16	2時	2時	0時間	18時	19時	1時間		
14	12	2013/9/16	2時	2時	0時間	18時	19時	1時間		
15	13	2013/9/16	2時	1時	-1時間	19時	19時	0時間		
16	14	2013/9/16	1時	1時	0時間	19時	19時	0時間		
				平均	0.63時間		平均	-0.44時間		

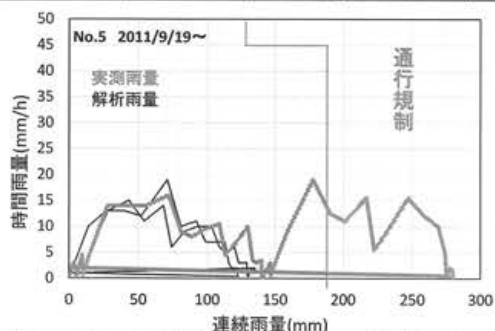


図-13 スネーク曲線 (実測雨量のみ基準超過の例)

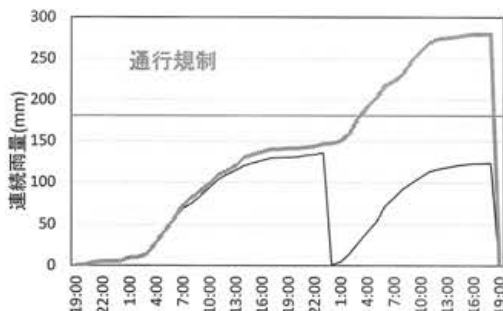


図-14 図-13と同じイベントにおける降雨時刻歴

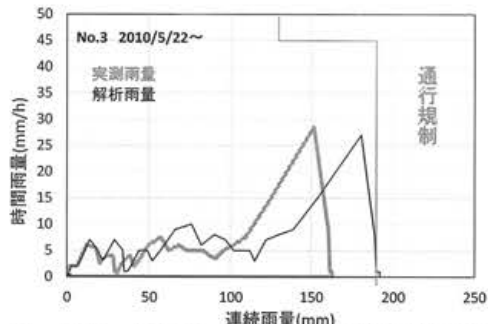


図-15 スネーク曲線 (解析雨量のみ基準超過の例)

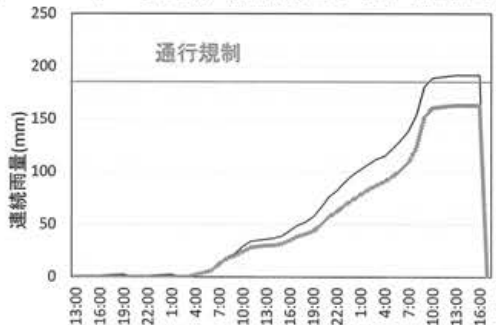


図-16 図-15と同じイベントにおける降雨時刻歴様子が分かる。残りの2イベントについては、降雨履歴形状は類似しているものの全体的に解析雨量値が小さく

出ていた。

24 イベント中残る3イベントは、解析雨量でのみ基準超過が見られたものである。代表的なスネーク曲線を図-15に示す。3イベント中2イベントは、図-16示すように降雨履歴形状は似ているものの全体的に解析雨量値が大きいものであり、残る1事例は実測雨量が途中リセットされているものの、解析値ではリセットされず基準を超過したものであった。

現在実測雨量については、測定誤差を考慮して2mm/h以下6時間で連続雨量をリセットすることとしているが、解析雨量を規制実施の判断に用いるためには、このリセットの定義についても別途検討する必要がある。

## 5. まとめ

解析雨量を高速道路における通行規制の判断に活用することを念頭に、同エリア同時刻において、6年間の実測データとの比較を行った。得られた知見と今後の課題は、下記のとおりである。

- 1) 実測雨量と解析雨量との相関係数は概ね0.8以上である。また、約80%以上の時間雨量は1mm/h以内の誤差であり、解析雨量の高い精度が確認された。
- 2) ただし、高強度の降雨に対する誤差は少なくなく、時間雨量単独で、規制実施の判断に用いることは、現時点では難しいといえる。
- 3) また、全体的に他よりも相関が悪い箇所、同一箇所において他の年より著しく相関が低下する年などの事例も確認されたため、更なる分析や別の視点での分析を今後進めていく予定である。
- 4) 解析値0.4mm/hという値を0.0mm/hと置き替えることにより、累積雨量が実測値に近づくことが確認された。
- 5) 通行規制基準を超過した降雨イベントに対し、解析雨量が実測雨量と概ね同等の降雨履歴をとっていることが確認できた。
- 6) ただし、リセットの影響により通行規制実施の見逃しや空振りの事例も確認されたため、その定義に関して別途検討が必要である。

## 参考文献

- 1) 地盤工学会 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測編集委員会:豪雨時における斜面崩壊メカニズムおよび危険度予測, 地盤工学・実務シリーズ 23, pp. 43-58, 2006.7.
- 2) 日本気象学会機関誌「天気」, pp. 43-58, 2001.8
- 3) 国土交通省「解析雨量」と地上観測雨量との比較, 玉川ら, [http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~jalps-atm/reference/tamagawa\\_jalps2012.pdf](http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~jalps-atm/reference/tamagawa_jalps2012.pdf)

(2016. 5. 31 受付)