

国道25号における 兼用道路の通行規制基準について

松尾 亮衛¹・的羽 正樹²

- 1 近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)
2 近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3)

国道25号は、奈良県王寺町から大阪府柏原市までの区間において一級河川大和川と並走しており、一部区間では大和川の管理用通路との兼用道路となっている。並走する大和川の流下能力不足や亀ノ瀬狭窄部の影響により、出水時には兼用道路が冠水することがあり、また王寺町亀ノ瀬地先の堤防道路部においては、過去5年間で4回の斜面崩壊等の被災が発生している。

このような状況の中、国道25号の安全・安心な道路交通機能を確保するためには、堤防兼用道路区間における適切な通行規制の設定が重要な課題である。本論では、当該区間で想定される被災メカニズムを整理し、河川水位に応じた通行規制基準の設定手法について紹介する。

キーワード 国道25号, 道路防災, 兼用道路, 規制基準

1. はじめに

国道25号は、起点である三重県四日市市から、奈良県を經由し、終点を大阪府北区とする総延長145kmの一般国道である。

同国道は、奈良県王寺町から大阪府柏原市までの区間において一級河川大和川と並走しており、一部区間では大和川の管理用通路との兼用道路となっている。当該区間は、古くから幾度となく地すべり災害に見舞われている亀ノ瀬地区をはじめとした急峻な山間部に位置しており、山間部の谷筋に国道25号と大和川、さらに一部区間でJR関西本線が並走している。

当該区間は、大和川の狭窄部であり、河積が小さく流下能力も低いいため、出水時に冠水することもあり、過去

数回通行止めを実施している。また、河道が蛇行し狭窄しているという複雑な形態を呈しているため、出水時の流況を把握することが困難な状況である。

道路法面は堤防護岸を兼用しているため、出水による洗堀や水位変動による崩壊が道路の安全性の低下を招いている。平成23年7月、平成24年7月出水時には、堤防法尻や法面に設置されたじゃかごが流出し、平成25年の6月、9月には、通行規制を伴う路肩崩壊が発生している。そのため、出水によって崩壊に至った破壊メカニズムの解明と、適切な交通規制基準の設定が課題となっている。

2. 対象区間の特性

対象区間の下流部に位置する亀ノ瀬地区は、両岸が山付き部となり、左岸側の堤防天端に国道25号が並走している。当該区間の河道は、川幅が上下流部と比べて狭く、上流側の河床勾配が緩いことから、狭窄による堰上げにより、洪水時の水位が上昇し、洪水氾濫や浸水等の水害を受けやすい地形的特性を有している。



図 - 1 位置図



写真 - 1 対象区間

(1) 検討対象区間の設定

(a) 兼用道路に該当する区間

兼用区間は堤防護岸と道路法面を兼用する区間であり、洪水時の流水による外力を直接受ける特殊な環境である。このため、一般的な外力による法面崩壊メカニズムの他、流水の作用による影響も考慮しなければならない。ここでは、法面（護岸）肩部から所定の堤防天端幅（W=5.0m、大和川河川整備計画における完成堤防の定規断面より設定）以内に車道部が重複する場合、「兼用道路」として扱う。

(b) 護岸対策が未実施の区間

護岸設置済み区間は、耐流速性を十分に有しており、流水による外力に対して安全と考えられる。一方、護岸が未整備である自然河岸の区間は、流水の作用に対して脆弱である可能性が高い。本検討では、ブロック積み等による護岸工実施済み区間を検討対象外とし、自然河岸部のみを対象とする。（図-2参照）

(2) 道路構造の整理

対象区間における侵食の傾向を把握するため、道路工事図面、占用資料、現地調査等の資料を基に、現況の道路構造の整理を行った。

(a) 道路法面構造の特徴

- ・区間下流側（河川距離標24.0k～25.0k付近）は自然河岸が点在しており、樹木が河岸法面を覆っている。また、一部は露岩している状況である。
- ・24.6k付近には、道路下に深礎杭が設置されている。（昭和57年完成（工事完成図書より））
- ・25.0k～25.7k付近は、国道25号と大和川の間は民地である。（堤防兼用道路ではない）

(b) 地質分布状況

- ・区間全体にわたり、道路面直下は盛土層が分布している。特に平成25年6月に崩壊した調査地点A,B付近では、4～5mの層厚があると推定され、崩壊しやすい状況であると考えられる。
- ・盛土層の直下は支持地盤（岩盤層）が広がっている。

3. 兼用道路に求められる機能と規制基準検討方策

(1) 兼用道路に求められる安全性

兼用道路という特性を有する区間においては、道路法面としての安全性確保の他に、河川堤防で想定される被災形態に対しても安全性を確保する必要がある。

「河川堤防設計指針」によると、堤防に求められる安全性に関わる機能は、①耐浸透機能、②耐侵食機能、③耐震機能である。堤防道路の通行規制基準を検討する上では、これらの機能を有していることを確認する必要がある。ここで耐震機能については、河川構造物に求められる機能ではあるが、掘り込み河道においては除外されると考え、本論では対象外とする。

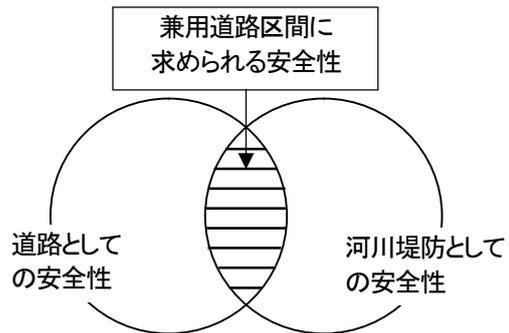


図-3 兼用道路に求められる安全性

(2) 想定される被災メカニズム

対象区間は流下能力が不足していることに加え、亀ノ瀬区間の狭窄部やその背水の影響を受けるため、流況が複雑である。したがって、他区間に比べ、以下に示す特性が道路の安全性に影響を及ぼすことが考えられる。

- ・流速が大きい
⇒ 河岸（道路法面）の侵食への影響が大きい
- ・水位が急速に上昇する
⇒ 迅速な通行止め（冠水）の判断が要求される
- ・法面に河川水が浸透し、出水後の水位が急低下する
⇒ 出水後、河川水の急激な低下により、法面内に残留水圧が発生し法面が崩壊する。

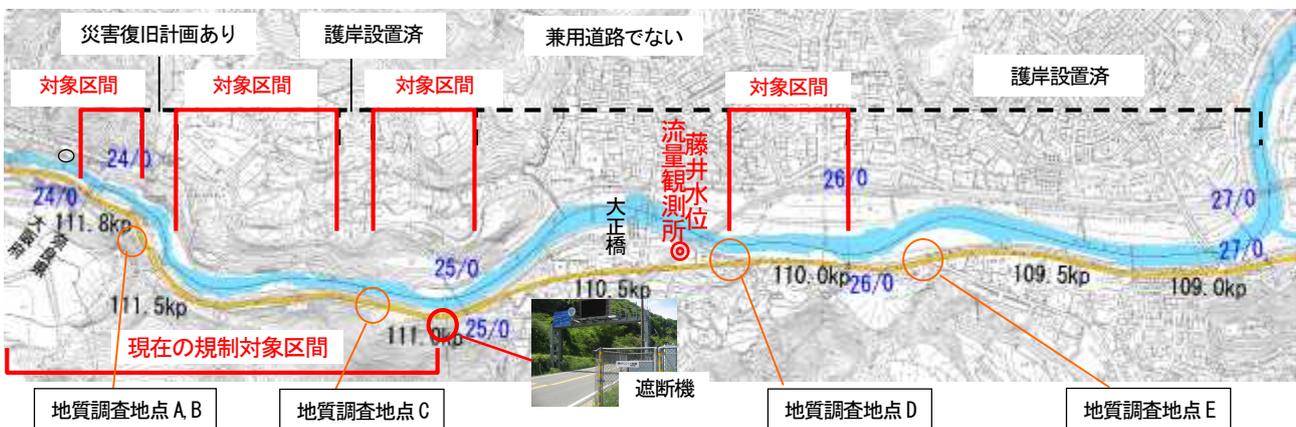


図-2 対象区間平面図

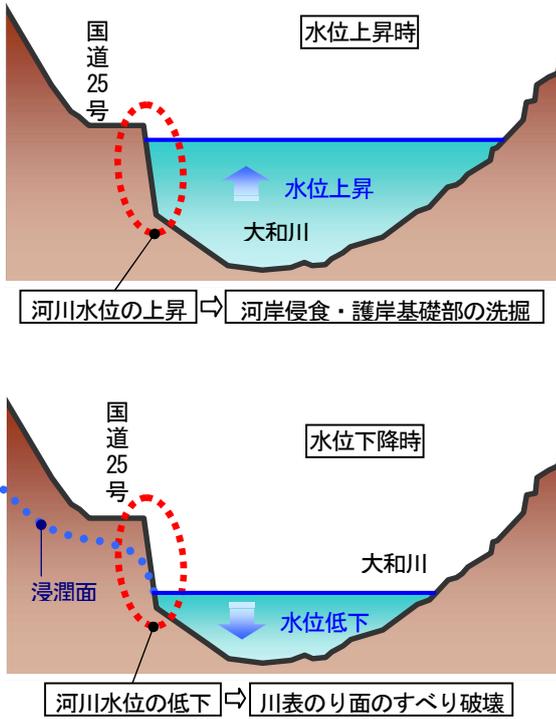


図-4 想定される被災メカニズム (侵食, 浸透)

これらを踏まえると、堤防道路の安全性に関わる被災形態としては以下のものが挙げられる。(図-4)

(a) 道路冠水

河川水の道路への溢水により、道路冠水が発生し通行不能となる。

(b) 河岸 (道路法面部) の侵食崩壊

河川水位上昇時、洪水時の流量・流速の増加により、河岸に対し侵食作用が働き、堤防道路が崩壊し通行不能となる。

(c) 水位低下後の河岸 (道路法面部) 浸透崩壊

増水時に堤防内に河川水が浸透し、河川水位低下時の残留水圧により斜面のすべり破壊が発生し通行不能となる。

(3) 通行規制基準設定に向けた課題と対応策

想定される各被災メカニズムに対し、対象区間の特性を踏まえた課題と対応策の整理を行った。(表-1) 本論では、これらの対応策の検討方針を述べるとともに、通行規制基準の検討結果を述べるものとする。

3. 冠水の観点による規制水位の検討

(1) 冠水危険箇所の把握

道路台帳、および河川定期測量横断面図をもとに、現況道路冠水高 (道路の冠水が始まる水位: 道路高または堤防高より設定) の整理を行った。整理の結果、河川距離標25.9k付近 (道路距離標110.1k付近) は特に道路高と水位との比高差が小さく、区間内で最も冠水しやすい「冠

表-1 規制水位検討に向けた課題と対応策

課題	対応
冠水危険箇所の把握	<ul style="list-style-type: none"> 河川水位と堤防道路高の関係の整理 過去の冠水実績時の河川水位の整理
規制基準水位の検討	<ul style="list-style-type: none"> 冠水危険箇所と藤井観測所水位差の整理 規制の際に必要な余裕高の設定
規制基準地点の検討	冠水危険箇所を踏まえた規制地点の見直し検討
洪水時の水位、流速の把握	<ul style="list-style-type: none"> 流況解析による水位、流速の算出 侵食に対する危険流速の設定
侵食に対し危険な水位の設定	危険流速発生時の藤井観測所水位の整理
浸透崩壊に対し危険な箇所の把握	地質調査結果と河岸法面勾配の整理
洪水時の水位変動傾向の把握	流況解析による洪水時水位の算出
堤体内への河川水の浸透状況、残留水圧の変動傾向の把握	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析による浸潤面の推定 浸透を考慮した斜面安定解析
浸透崩壊に対して危険な水位の設定	斜面崩壊に対する安全率と藤井観測所水位の関係の整理

水危険箇所」であり、この地点における 道路冠水高は TP+35.73mである。(図-5)

(2) 冠水危険箇所と藤井観測所との水位差

規制基準水位の設定には、規制の基準地点である藤井観測所の水位に換算する必要があるため、冠水危険箇所と藤井観測所の水位変動傾向を比較した。水位上昇期における藤井観測所と冠水危険箇所近傍の111.0kp(河川距離標25.6k+180m)における水位は、ほぼ同様の変動傾向を示しており、冠水危険箇所と藤井観測所との水位差は40cm程度である。よって、本検討では冠水危険箇所での水位より0.4m差し引いた値8.93m (TP+35.33m) を、冠水危険水位 (計算値) として設定する。

(3) 冠水実績をふまえた冠水危険水位

藤井観測所における水位データを基に、水位がHWLを超過した洪水を抽出し、冠水実績を踏まえて冠水危険水位 (実績値) を設定する。(表-2)

過去20年間においてHWLを超過した5洪水のうち、以下の2洪水の最高水位を冠水危険水位として設定する。

- 道路冠水が発生した、H7.7の出水における最大水位 8.86m (TP+35.26m)
- 道路高付近まで水位が上昇し、冠水は発生しなかった、H25.9の台風18号出水における最大水位 9.10m (TP+35.50m)

表-2 対象区間における大規模出水の実績

洪水発生日	最大水位 (藤井観測所)	冠水実績	備考
H5.7.5	8.57m (TP+34.97m)	×	
H7.7.4	8.86m (TP+35.26)m	○	冠水箇所、冠水深は不明
H11.8.11	8.54m (TP+34.94m)	×	
H19.7.17	8.41m (TP+34.81m)	×	
H25.9.16	9.10m (TP+35.50m)	×	過去20年最大水位を記録

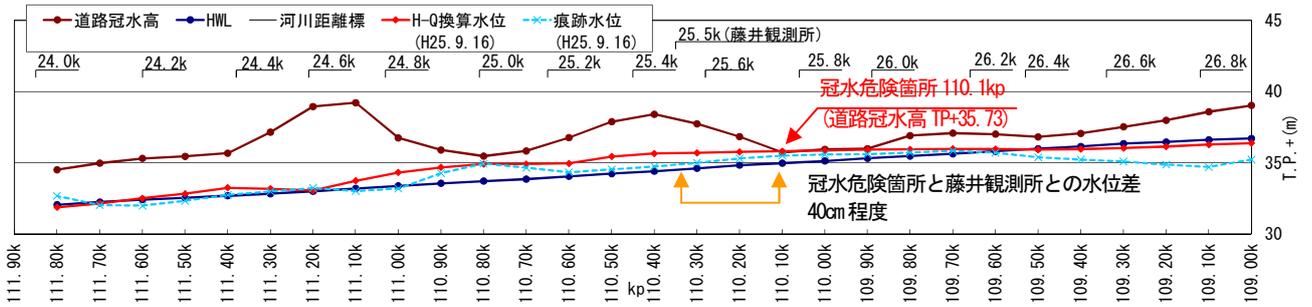


図 - 5 対象区間道路高と大和川計算水位, 実績水位

(4) 危険水位に対する余裕高の設定

規制水位は、規制前後の巡視・点検活動の際の安全確保を考慮し、冠水危険水位からある程度の余裕高を確保して設定する。余裕高は「河川管理施設等構造令」より、対象区間が堀込河道であることを考慮し0.6m以上確保するものとする。

(5) 冠水の観点による通行規制基準水位

以上の整理を踏まえ、計算及び実績から設定した冠水危険水位3案に対し、余裕高0.6mを引いた値から規制基準水位を設定する。表-3より、最も安全側となる「藤井観測所における水位=8.26m (TP+34.66m)」を、「通行規制開始の基準水位」として設定する。

表 - 3 通行規制開始基準水位の設定

検討対象水位	根拠	余裕高	規制開始基準水位
8.93 (TP+35.33)	道路冠水高より		8.33 (TP+34.73)
8.86 (TP+35.26)	冠水実績より	0.6m	8.26 (TP+34.66)
9.10 (TP+35.50)	既往最大水位		8.50 (TP+34.90)

4. 侵食の観点による規制水位の検討

(1) 侵食に崩壊に対する評価指標

侵食に対する安全性は水理条件や河岸、あるいは堤防の土質条件や地形等の特性に起因するため、各地点において様々である。そのため河川堤防では、概略的に流速が2m/s以上を超える場合には何らかの対策が必要とされている（「河川堤防の構造検討の手引き」）。本検討では、崩壊が発生した出水の流量や水位等の知見が得られていることから、それらと当該区間の地形情報をもとに、当該区間における河道の流況（水位、流速）にて侵食崩壊発生危険性を評価する。

(2) 法面崩壊発生時の実績流速の推定

過去5年間のうち崩壊実績があった①H23年9月、②H24年7月、③H25年6月、④H25年9月の洪水を対象に、河岸近傍の流速を算出し、侵食に対する危険流速を推定する。流速の算出には、被災区間である内岸側の分布状況を明らかにする観点から、湾曲部で発生する水位上昇や急拡大・急縮による死水域の発生を反映することができる平面二次元流解析を用いた。流況再現計算より、崩壊箇所付近での最大流速は①3.88m/s、②4.19m/s、③4.47m/s、④4.64m/sとなった。

① H23.9

最大水位 5.85m
(TP+32.25m)



法尻付近のじゃかごが流出
v=3.88m/s

③ H25.6

最大水位 8.17m
(TP+34.57m)



斜面崩壊
v=4.47m/s

② H24.7

最大水位 6.86m
(TP+33.26m)



法面部じゃかごが流出
v=4.19m/s

④ H25.9

最大水位 9.10m
(TP+35.50m)



袋詰玉石が流出
v=4.64m/s

写真 - 2 過去5年の被災実績

(3) 危険流速の設定

出水①による被災は、法尻付近の一部のじゃかごが流出したのみで、道路の通行に影響がある崩壊は発生していない。一方で、出水②③では堤防法面の崩壊が発生し、道路の通行規制を伴うものであったため、これらの出水時の流量規模に達した時点の流速を、危険流速として設定することが適切である。

以上のことから、本検討では道路の通行に影響を及ぼす被災が発生した、出水②の実績流速に対して安全側を考慮し、侵食に対する危険流速をV=4.0m/sと設定する。

(4) 危険流速発生時の流量と藤井観測所水位

流況解析結果を基に、崩壊地点付近の流速と流量の関係をV-Q式として作成した。このV-Q式に侵食に対する危険流速V=4.0m/sを適用した結果、流量は876.5m³/sである。この流量に対し、藤井観測所でのH-Q式を適用し、藤井観測所での水位を推定した。ここで対象箇所での流

量は、藤井観測所と同等の流量が流下すると仮定した。

検討の結果、実績崩壊箇所（基準地点）において、侵食に対する危険流速 $V=4.0\text{m/s}$ が発生する際の藤井観測所における水位（＝危険水位）は、 6.39m （TP+32.79m）となった。

なお、過去10年間における危険水位の発生頻度は10回であり、年間約1回程度の頻度であることがわかった。

表 - 4 危険流速発生時の流量、藤井観測所水位

v-Q式の係数		R ²	計算値		藤井観測所 換算H (H-Q式適用)
a	b		V	Q	
0.5214	0.3007	0.9614	4.00	876.52	6.39

※v-Q式: $v=aQ^b$ の形で作成

※藤井観測所H-Q式: $Q=21.87(H-0.06)^2$ (平成23年度)

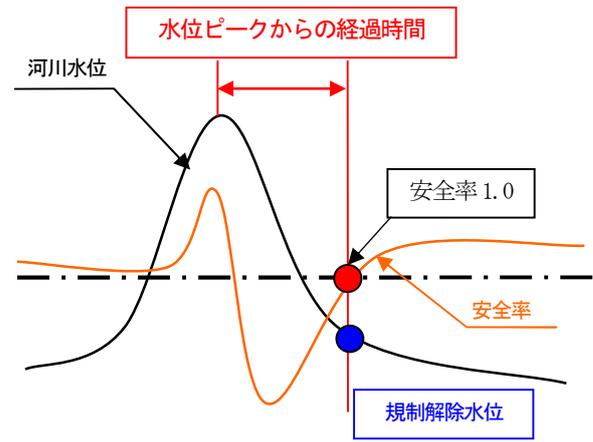


図 - 6 規制解除水位の算出イメージ

(5) 侵食の観点による通行規制基準水位

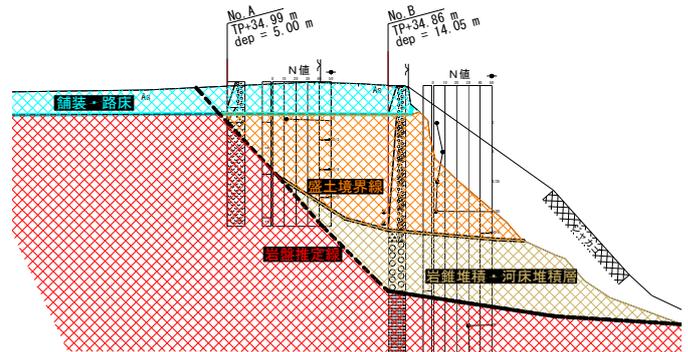
危険水位に達した時点で、何らかの警戒体制が必要であるが、危険水位に達する毎に通行規制を実施した場合、以下の理由により過度な規制となる可能性がある。

- ・基準水位に達した時点で必ず侵食崩壊が発生すると断定できない。
- ・侵食崩壊の規模により、その影響が交通に支障を及ぼさない場合もある。

よって本検討では、「藤井観測所における水位＝ 6.39m （TP+32.79m）」を通行規制開始の基準水位とせず、「注意体制開始（パトロール開始）の基準水位」とする。

表 - 5 設定した土質定数

深度 (GL- (m))	地層名	層厚 (m)	N値	平均N値 換算N値	設計 N値	単位体積 重量 (kN/m^3)	内部 摩擦角 ϕ ° 度	ϕ 算定 データ $\sigma' = \sigma'_v$ kN/m^2	粘着力 C (kN/m^2)	透水係数 k (cm/sec)
	As 路床	0.05 1.00			(7)	18 32	32	$\sigma' = 50$	0	1.0×10^{-5} 1.0×10^{-2}
1.15	盛土層	5.00 以下	3	3.3	3	18	22		—	1.0×10^{-3}
2.15			(8)							
3.15			4							
4.15			3							
	在来堆積層	3.00以下			(10)	19	31	$\sigma' = 120$	0	1.0×10^{-3}
9.15	岩盤層	3.50 以上	30	40.3	$40^{0.3}$	20	36	$\sigma' = 190$	0	1.0×10^{-6}
10.15			31							
11.15			50							
12.15			50							



5. 浸透の観点による規制水位の検討

(1) 検討方針

浸透崩壊に対する河岸の関係性を評価する上では、次の点を把握することが重要である。

- ・洪水時の河川水位の変動傾向
- ・河川水が浸透した場合の堤体内の浸潤面の形成状況
- ・降雨の浸透
- ・河岸の土質状況

そこで本検討では、以下の手順により、河川水位低下時の残留水圧の変動と、すべり破壊の危険性との関係を把握し、規制解除水位を検討する。

- ①河川水と降雨の法面内への浸透を考慮した安定解析
 - ・代表断面において浸透流解析を行い、堤体内への河川水と降雨の浸透による浸潤面の形成を推定。
 - ・浸潤面の変動と河川水位変動を考慮した残留水圧の推定を行い、斜面安定解析を行う。
- ②洪水ピーク後から、斜面の安全性が担保される（安定解析結果での安全率が1.0以上となる）水位を算定する。

(2) 対象区間地盤のモデル化

被災箇所近傍にて実施した地質調査結果を用いて、地盤のモデル化を行った。モデル化に際しては「河川堤防の構造検討の手引き」に準じ、表-5に示す土質定数を設

定した。なお、粘着力Cについては、地質調査により得られなかったため、過去の出水時の崩壊の有無等の事象から、再現計算による逆算法を用いて粘着力を推定した。下記2ケースの実現象を両方満たす値とし、 $C=17.5\text{kN/m}^2$ とした。

（ケース 1）過去 10 年間で比較的規模が大きく、崩壊実績のない 3 出水時の実績降雨、崩壊箇所付近の外水位を外力条件とし、すべり破壊の最小安全率が 1.0 に近似するように粘着力 C を設定

（ケース 2）H25.9 出水の通行規制解除時点で法面崩壊が発生していないことを条件として、すべり破壊の最小安全率が 1.0 に近似するように粘着力 C を設定

(3) モデルパターン解析による規制水位の算出

浸透崩壊の危険性は、外力条件(大和川水位、降雨量)により異なる。本検討では「河川堤防の構造検討の手引(改訂版)」に準拠し、対象区間のモデル降雨波形・水

位波形を作成した。また、出水規模による影響を把握するため、表-6に示すピーク水位、継続時間、水位低下勾配のパラメータを変動させて感度分析を行った。

解析の結果、「ピーク水位」が浸透崩壊に対する安全性に大きく影響する結果となった。このため、本検討ではピーク水位を変動させ、それ以外の要素は過去 20 年間の実績最大値を用いて解析を行った。

(3) 浸透の観点による規制水位

d 浸透流解析による検討結果と規制基準水位を表-7 及び図-8 に示す。解析により、安全率が 1.0 以上となる時点（水位ピーク時からの経過時間）の藤井観測所水位を算定し、規制基準水位検討を行った。

表 - 6 モデルパターン解析に用いたパラメータ

変動させた水理パラメータ						解析結果への影響	
ピーク水位	11.00m	10.00m	9.10m	8.00m	7.00m	6.00m	◎ 浸潤面上昇に大きく影響する
ピーク水位継続時間	1時間	3時間	5時間				△ 盛土の透水係数が低く、影響が小さい
水位低下勾配	-1.0m/hr	-0.9m/hr	-0.8m/hr	-0.7m/hr	-0.6m/hr		△ 浸潤面の変動に対する影響が小さい

□ …規制水位検討の採用値 ※ …過去20年間の実績最大値

図 - 8 規制基準水位検討結果

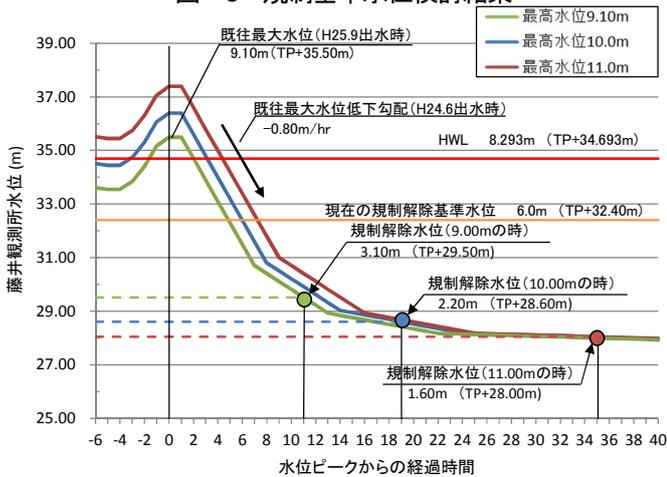


表 - 7 モデルパターン解析結果および規制水位検討結果

断面形状	条件				解析結果 安全率 ≥ 1.0 となる藤井水位	規制水位検討結果	
	外力条件		地盤定数(盛土層)			規制解除水位	経過時間(目安) ※2
崩壊前断面 ※1	11.00m (TP+37.40m)	1時間	-0.8m/hr	22.0	1.64m	1.60m (TP+28.00m)	35時間
	10.00m (TP+36.40m)				2.21m	2.20m (TP+28.60m)	19時間
	9.10m (TP+35.50m)				3.12m	3.10m (TP+29.50m)	11時間
	8.293m (TP+34.693m)				-	-	-
	8.00m (TP+34.40m)				-	-	-
	7.00m (TP+33.40m)				-	-	-
	6.00m (TP+32.40m)				-	-	-

※1: 崩壊箇所より下流側の断面を想定
 ※2: ピーク水位から、規制解除水位に達するまでの経過時間

表 - 8 浸透の観点による通行規制解除水位の設定

藤井観測所最大水位	規制解除水位
10.0m以上 11.0m未満	1.6m (TP+28.0m)
9.0m以上 10.0m未満	2.2m (TP+28.6m)
8.293m (HWL) 以上 9.0m未満	3.1m (TP+29.5m)
8.293m (HWL) 以下	6.39m (TP+32.79m) 注)

注) 藤井観測所のHWL以下の場合は浸透崩壊に対して安全であるため、侵食に対する危険水位を考慮して、規制解除水位を設定した。
 ※上記水位に達した時点でパトロールを行い、現地に異常が無いと判断される場合、規制を解除する。

安全率が 1.0 となる水位に達するまでは、浸透崩壊に対する危険があると判断される。言い換えると、この水位が確認された時点で国道 25 号の通行規制の解除を実施しても問題ない。

本検討では、解析結果を踏まえ、以下の方針により表-8に示す規制解除基準水位を設定した。

・藤井観測所 HWL を超過した場合は、ピーク水位によって段階的に設定し、HWL 以下の場合は浸透崩壊に対して安全であるため、冠水や侵食の観点を優先して、規制解除水位を設定した。

6. 結論

各規制水位検討結果を整理し、表-9に示す。

表 - 9 規制基準水位の検討結果

	現在の規制基準	道路冠水	侵食・洗掘	斜面崩壊(浸透、すべり)										
規制水位	8.293m (TP+34.693, HWL) ※1	8.26m (TP+34.66)	6.39m (TP+32.79m)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>藤井観測所最大水位</th> <th>規制解除水位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.0m以上 11.0m未満</td> <td>1.6m (TP+28.0m)</td> </tr> <tr> <td>9.0m以上 10.0m未満</td> <td>2.2m (TP+28.6m)</td> </tr> <tr> <td>8.293m (HWL) 以上 9.0m未満</td> <td>3.1m (TP+29.5m)</td> </tr> <tr> <td>8.293m (HWL) 以下</td> <td>6.4m (TP+32.8m) 注)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) HWL以下の場合は、浸透崩壊に対して安全であるため、侵食に対する危険水位を考慮して設定した。</p>	藤井観測所最大水位	規制解除水位	10.0m以上 11.0m未満	1.6m (TP+28.0m)	9.0m以上 10.0m未満	2.2m (TP+28.6m)	8.293m (HWL) 以上 9.0m未満	3.1m (TP+29.5m)	8.293m (HWL) 以下	6.4m (TP+32.8m) 注)
藤井観測所最大水位	規制解除水位													
10.0m以上 11.0m未満	1.6m (TP+28.0m)													
9.0m以上 10.0m未満	2.2m (TP+28.6m)													
8.293m (HWL) 以上 9.0m未満	3.1m (TP+29.5m)													
8.293m (HWL) 以下	6.4m (TP+32.8m) 注)													
根拠	「国道25号王寺町藤井の水位(亀ノ瀬地区)の運用(案)について」より	冠水危険水位(実績)に対し、余裕高0.6mを考慮した水位	実績データから、崩壊が発生する危険流速を4.0m/sとした時の水位	解析の結果、堤防斜面崩壊に対する安全率が1.0以上となる時の水位										
対応	-	冠水危険箇所の解消(道路嵩上げ、または特殊堤の設置)が課題となる。	パトロール開始となる「注意体制」に対応する基準とする。	規制解除基準水位を下回り、パトロールの結果、現地に異常が無いと判断される場合、規制解除する。										