

次世代複合型貯留施設(SMART tunnel)の日本における適用案

呉工業高等専門学校 学生会員 ○福田 圭希
呉工業高等専門学校 正会員 谷川 大輔

1. はじめに

近年、豪雨による洪水被害が全国各地で観測されており、都市部における被害も激甚化しつつある。豪雨による影響は、社会インフラ切断など多方面に拡がり、結果として地域経済に深刻なダメージを与える。こうした豪雨に起因する悪影響を緩和する事が今後の課題であり、既存の技術に加えて新たな技術を導入する事で防災・減災に繋げる必要がある。さらに今後は、減災対策に加え、付加価値などにより老朽化した下水道インフラの事業価値の向上が重要視されている。

従って、新たな防災インフラと既存施設を組み合わせることで相乗効果を生み出すことができ、且つ防災分野にとどまらない付加価値創造ができる新技術が求められる。本研究では、提案したインフラ施設の具体的なシステムや適応地域、得られる効果などについて提案した。

2. 実験方法

2.1 SMART の概要

図1に提案システムの概略図を示す。本システムは、マレーシアの技術である SMART (Stormwater Management And Road) tunnel を参考にしており、雨水排水トンネル及び貯溜施設、水車型水力発電装置や既存の貯留施設、交通渋滞緩和の為に地下バイパスの大きく3つで構成されている(以下、SMART と表記する)。

全体のシステムフローとしては、豪雨時に水位が上昇した河川や市内の雨水管から雨水を雨水排水トンネル及び貯溜施設部分に流し込み、場合によっては既存の地下貯留施設に流し込み、貯水容量を確保する。貯まった雨水は水車型水力発電装置で発電した電力を補助的に用いながら、地上の貯水池又は水位の低い河川・海・湖等に排水する。先述の対応でも不十分な場合は、安全確認後に地下バイパスを開放

し、本エリアに雨水を流し込むことで貯水容量を増やし、浸水被害を防止する。

平常時の地下バイパスは交通渋滞緩和・交通の円滑化に役立てられ、豪雨時は段階的に通行規制を行いながら最終的に水門の開閉によって、車道部分に雨水を流入させる。水門開閉はデジタル技術で自動化し、トンネル内水位が一定に達した時点で警告アラートを防災無線等で発し、周辺住民に避難を呼びかけるなどデジタル技術をソフト面で活用する。

2.2 SMART 適用地域の選定

本研究では、適用地域として広島県福山市(芦田川水系)を選定した。

平成30年7月豪雨の人的・住居被害は甚大なものであり、中でも広島県は土砂災害による被害が大きかった。しかしながら、福山市では芦田川や手城川の支流で内水氾濫が発生し、浸水による被害も拡大した。加茂川と高屋川との合流地点や東福山駅周辺で浸水も予想されることを鑑み、選定した。さらに、福山市内を東西に走る国道2号線の渋滞問題も深刻で、改善が必要であると考え、人口も県内二位と多い福山市を選定した。

2.3 SMART 適用効果の試算

SMART 導入によって期待する効果として、内水氾濫・河川氾濫による浸水被害減災やダムに代わる次世代複合型貯留施設としての効果により、ダム建設における土地問題が起きない為、住民の理解を得やすく生態系や水質などへの悪影響が軽減される。加えて、洪水発生時刻を遅らせることで避難経路、時間の確保が可能である。通常運用時における交通渋滞の緩和、移動時間の短縮の効果が期待され、物流の円滑化による地域全体の生産性向上に繋がる。合わせて、緊急車両等の到着時間短縮もでき、災害発生時に地上の道路が通行できない場合における災害復旧車両の通行や物資の輸送への効果もあると考えられる。

キーワード SMART, 災害時, 渋滞緩和, 雨水排除, 交通機能維持

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11 呉工業高等専門学校 環境都市工学科

TEL 0823-73-8955

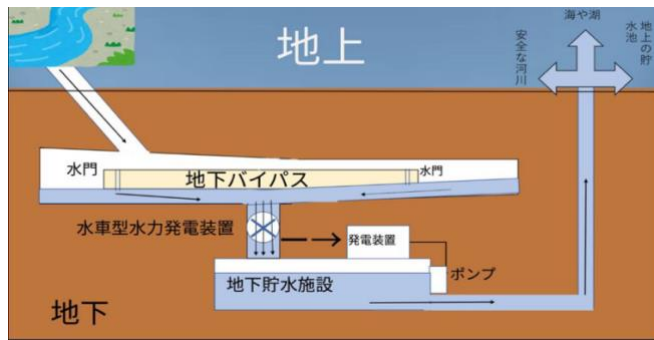


図1 提案システムの概略図

3. 実験結果および考察

3.1 災害時における SMART の適用効果

適用地域である福山市においては、記憶に新しい平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨災害)で床上浸水が 1250 件、床下浸水は 896 件に上り、道路や河川・水路といった土木施設の被害も 900 件に達した。福山市内における浸水面積は約 2000 万 m^2 にも及び、災害が激甚化する今、迅速な減災対策が必須となっている。浸水面積 2000 万 m^2 は市内の約 4% に当たり、平均的な浸水深が 0.5m であったとすると、浸水量は約 1000 万 m^3 と推定できる。本研究の適用案として、トンネルの内径 12m、全長 9.1km(内、地下バイパスは 2.3km)を提案しており、当該トンネルの貯水容量は約 1030 万 m^3 (内、地下バイパス区間の貯水容量は 26 万 m^3)となり、平成 30 年 7 月豪雨並みの洪水被害には対応可能だ。さらに、東福山駅・手城川周辺の浸水防止のために敷設された既存の雨水貯留施設(貯水容量 8000 m^3)や明神公園前ポンプ場を利用することで、想定外の豪雨にも対応できる。したがって、上記の数値から豪雨による浸水害を限りなくゼロに近づけることができると分かる。

その他のメリットとして、水車型水力発電装置による発電により、災害発生時にライフラインが切断されたとしても補助的に電力を供給することが可能な点や市内各所の下水道管から AI 予測で雨水を流入させるシステムによって、地域内で内水氾濫の影響の大きさの相違があっても、コントロールして対応できる点など様々だ。地下バイパスに流入後も、高圧洗浄等を行って安全確認後すぐに道路を開通させることができるため、災害の影響で地上の道路が通行できない場合における代替路として災害復旧車両

の通行や物資の輸送への効果もあり、非常に有効的と考える。このように、災害時の交通や物流機能維持のために活用することで経済への影響も最小限にすることができ、当該トンネル運用段階 3(図 2 に示す。)まで車両通行可能なため、浸水発生を抑制しつつ、交通機能を維持できるという点が複合型にする最大のメリットである。加えて、金銭的な面でも合理的な施設であると言える。平成 30 年 7 月豪雨時の福山市における浸水害被害額は約 160 億円に上り、これが 50 年の時間枠で複数回発生したとすると数百億円に及ぶ莫大な金銭的効果も期待でき、災害後の補修や新設に係る費用も鑑みると、導入効果は大きいと言える。

災害に対する効果は、先述した水害に限らず、雪害にもあり、水害に併せて雪も多く降る地域に適用すると尚良いと考える。

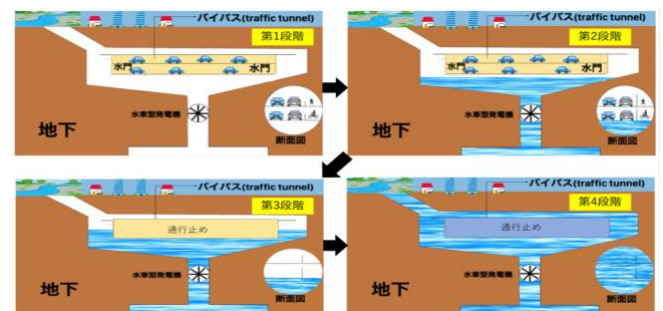


図2 SMART の運用段階

3.2 平常時における SMART 適用効果

平常時においては、高速道路へと繋ぐ迂回路(2号線→福山東 IC)として地下バイパスを通すことで、交通渋滞緩和の効果が期待される。地下バイパス区間は SMART トンネル全長約 9.1km の内、約 2.6km として設定した。図 3 に福山市における適用例を示す。

福山駅から、地下バイパス区間が接続している明神町交差点にかけての交通渋滞は、図 4 に示すように、国道 2 号線ワースト上位というデータが国土交通省から発表されている。この渋滞による損失時間は 82 万人・時間/年で経済的な損失も大きい。そこで、地下バイパスが直接接続する明神町交差点から府中分かれ交差点の区間延長 2.3km(3 位)における地下バイパス整備による走行時間短縮便益を算出し、経済効果を推定した。本研究では、地下バイパストンネルの耐用年数を 50 年、交通渋滞緩和効果として、整備後の旅行速度を制限速度である 50km/h、交通量

は変化しないものとして計算を行った。

まず、一般的な車種別交通量の割合を平成22年度「道路交通センサス一般交通量調査」(国土交通省)より、A 普通車、B 小型貨物車、C バス、D 普通貨物車として算出した。その結果を表1に示す。平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査(広島県)より、本研究対象区間の平日昼間12時間自動車類交通量は小型車23356台、大型車3771台、平日昼間12時間平均旅行速度は平均20.95km/hと得られ、旅行速度から旅行時間Tを6.587分と算出した。表1の結果を参照して算出した対象区間の交通量、車種別の時間価値原単位 α (平成29年価格)を併せて表2に示す。

上記で得られたデータより、地下バイパス整備前の走行車両の一般化費用 BT_O (百万円/年)は、

$$\begin{aligned} BT_A &= (Q_A \times T \times \alpha_A) \times 365 \\ &= (18295 \times 6.587 \times 39.60) \times 365 \\ &= 1741.84(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_B &= (Q_B \times T \times \alpha_B) \times 365 \\ &= (5061 \times 6.587 \times 50.46) \times 365 \\ &= 613.99(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_C &= (Q_C \times T \times \alpha_C) \times 365 \\ &= (16 \times 6.587 \times 365.96) \times 365 \\ &= 14.08(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_D &= (Q_D \times T \times \alpha_D) \times 365 \\ &= (3755 \times 6.587 \times 67.95) \times 365 \\ &= 613.45(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_O &= BT_A + BT_B + BT_C + BT_D \\ &= 2983.36(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

ただし、

BT_i = 車種iの総走行費用

Q_i = 車種iの12時間交通量

地下バイパス整備後の総走行時間費用 BT_w (百万円/年)は、旅行速度が50km/h、交通量Qが1倍の Q' に変化すると仮定し、算出した。整備後の旅行時間 $T' = 2.76$ 分において、

$$\begin{aligned} BT_A' &= (Q_A' \times T' \times \alpha_A) \times 365 \\ &= (18295 \times 2.76 \times 39.60) \times 365 \\ &= 729.84(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_B' &= (Q_B' \times T' \times \alpha_B) \times 365 \\ &= (5061 \times 2.76 \times 50.46) \times 365 \\ &= 257.27(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_C' &= (Q_C' \times T' \times \alpha_C) \times 365 \\ &= (16 \times 2.76 \times 365.96) \times 365 \\ &= 5.90 \text{ 百万円/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_D' &= (Q_D' \times T' \times \alpha_D) \times 365 \\ &= (3755 \times 2.76 \times 67.95) \times 365 \\ &= 257.04(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BT_w &= BT_A' + BT_B' + BT_C' + BT_D' \\ &= 1250.05(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

したがって、交通渋滞緩和によって生じる経済的利益である走行時間短縮便益BTは、

$$\begin{aligned} BT &= BT_O - BT_w \\ &= 2983.39 - 1250.05 = 1733.34(\text{百万円/年}) \end{aligned}$$

地下バイパストンネルの耐用年数を50年と仮定すると、当該トンネル導入に伴う交通渋滞緩和に起因する経済効果は、50倍して約870億円と推定できた。



図3 福山市における適用例



図4 国道2号線渋滞状況

表 1 車種別交通量の割合

分類	車種	交通量[台]	交通量の割合[%]	
小型車	A 乗用車	27694	46.067	58.81
	B 小型貨物車	7661	12.743	
大型車	C バス	108	0.180	41.19
	D 普通貨物車	24654	41.01	
	計	60117	100	

表 2 算出した対象区間車種別交通量と時間価値原単位

車種	対象区間車種別交通量Q[台]	時間価値原単位 α [円/分・台]
A 乗用車	18295	39.60
B 小型貨物車	5061	50.46
C バス	16	365.96
D 普通貨物車	3755	67.95

4. まとめ

本研究で提案した施設は、巨大な上に地下での工事となるのでコスト面でのデメリットが存在する。マレーシアの例では、総工費が日本円で約 480 億円（約 4 億 4000 万ドル）となり、日本とマレーシアの建設費水準の比較から日本での工費は 5 倍の約 2400 億円に達する。50 年というスパンで捉えると、この高コストを補う形で先述した渋滞緩和による経済効果として約 870 億円、災害時の被害額軽減による数百億円の金銭的效果、加えて付加価値の多い当該トンネルの存在に起因する経済的效果は充分見込まれる。以上の理由より、重要視すべきコスト削減は不十分ではあるが、未来の日本を救う可能性を持つ魅力的なインフラとして、希望を抱いている。

毎年と言っていいほど大規模自然災害に見舞われる我が国において、国土強靱化は重要課題であり、下水道を含め至る所でインフラの老朽化が懸念されている現在、ハード対策を基本として、刻一刻と変貌する地球環境に順応でき、半永久的に活用できる新たなインフラが求められていると思う。これは我が国に限った話ではなく、他の先進国でも言える。そういった理由からも、今後の研究で SMART の課題をさらに見つけ出し、コスト面においては既存施設の有効活用など、課題に見合った解決策を吟味し、福山市以外の適用地域あるいは世界の都市にも目を向けるなどして、適用案に更なる磨きをかけていきたい。