

# FEM 解析による橋梁下部空間に充填された発泡ウレタンの応力分布および変位置量の検討

発泡ウレタン 老朽化橋梁 FEM 解析

宮崎大学	学生会員	○村上 遼
宮崎大学	国際会員	神山 惇
宮崎大学	国際会員	福林良典
宮崎大学	国際会員	末次大輔
鹿児島大学	非会員	審良善和
(株)アック住環境	非会員	三田部均

1.はじめに 国土交通省道路局調べによると、全国に約 72 万箇所ある橋梁の 50%は、10 年後に建設後 50 年を経過する。また、約 51 万箇所の橋梁は市町村道にある。地方公共団体では、橋梁保全業務に携わっている土木技術者の減少に加え、十分な点検費用が確保できない場合がある。そのため、橋梁の老朽化対策および維持管理の効率化が望まれている。本研究では、その解決策の一つとして、軽量盛土材を橋梁下部構造の空間に充填し、老朽化橋梁を軽量盛土として更新する工法の確立を目指す<sup>2)</sup>。本報では、2次元 FEM 解析により、軽量盛土内部のウレタンおよび橋台に生じる応力分布と変位置量を検討した。

2. 軽量盛土化の工法の概要 図-1 に単純桁における本工法の模式図を示す。橋梁は一般的に、上部構造と下部構造で構成される。両者の接点に位置する支承によって、上部構造の荷重が下部構造に伝えられる。本工法では、橋梁下部空間にウレタンを吹付け・充填し、ウレタンに死荷重および活荷重を支持させることで下部構造への負担を軽減することが可能となる。

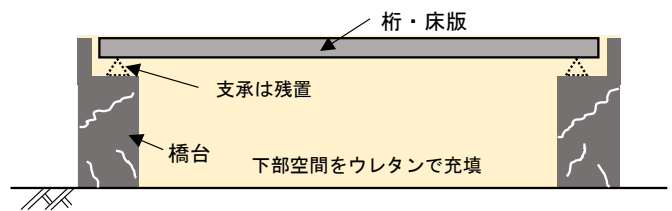


図-1 ウレタン充填後の軽量盛土の縦断面模式図

ウレタンを充填することで橋梁部材料、特に支承の点検が困難になる。本工法ではその解決策として、ウレタンだけで上載荷重を受け持つことを前提として、軽量盛土への更新を検討する。仮にウレタンで覆われた支承が老朽化に伴い支持力が低下あるいは喪失し、その状態が目視で確認できない状態であっても、死荷重および活荷重をウレタンで支持できる範囲内で設計すればよい。本報では、ウレタン充填による橋台の荷重軽減効果を明らかにするため、FEM 解析を用いて軽量盛土内部のウレタンおよび橋台に生じる圧縮応力の分布と変位置量について検討した。

3. FEM 解析の概要 地盤解析ソフトを用いて、2次元 FEM による弾性解析を行った。図-2 に解析モデルの縦断面の模式図を示す。橋梁は、床版・支承・橋台から構成されており、床版の厚さは 20cm である。解析は、平面ひずみ条件である。解析対象は、本工法の事例における橋梁の寸法を参考にした。

解析モデルは、支承とウレタンで上載荷重を支持する状態 (モデル 1: 支承あり)、ウレタンのみで上載荷重を支持する状態 (モデル 2: 支承なし)、ウレタンを充填しない単純梁の状態 (モデル 3: ウレタンなし) の 3 ケースとした。解析モデルにおける境界条件として、底面は水平・鉛直方向を拘束し、側面については拘束条件を与えていない。荷重に関しては、本工法を適用する橋梁は中小規模であるため上載荷重を 20 kN/m<sup>2</sup>、40 kN/m<sup>2</sup> と想定した。上載荷重は死荷重+活荷重とした。死荷重は床版 (=4.9kN/m<sup>2</sup>) と桁の重量、活荷重は現場発泡ウレタン軽量盛土工法の施工マニュアルに基づいて q=10kN/m<sup>2</sup> を床版の上面に全面載荷した<sup>3)</sup>。なお、桁は、モデル化せず、これによる荷重のみを考慮した。また、表-1 に解析に用いた各部材のパラメータを示す。ウレタンの物性値は、既存の発泡ウレタン軽量盛土工法のマニュアルを参考にした<sup>3)4)</sup>。橋台および床版は、道路橋示方書から一般的な鉄筋コンクリートの物性値を引用した<sup>5)</sup>。支承に関する単位体積重量は道路橋示方書より決定した<sup>6)</sup>。

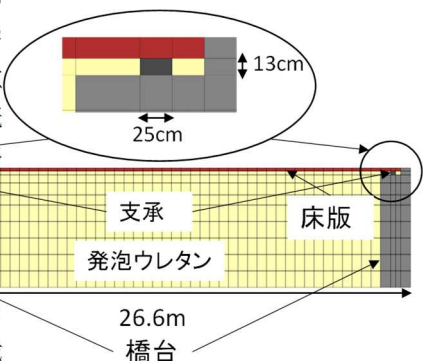


図-2 解析モデルの縦断面の模式図

4. 解析結果と考察 図-3 にウレタン表面の中心地点 (図-4 中の A 点) から (図-4 中の B, C 点) までの距離と鉛直変位の関係を示す。横軸は、A 点から B 点までの距離を正の値、A 点から C 点までの距離を負の値で示している。図-3 より、上載荷重が 20 kN/m<sup>2</sup>、40 kN/m<sup>2</sup> とともにウレタンの両端すなわち床版と橋台で挟まれた箇所においては、変位置量はほぼゼロであり、中心に向かうほど変位置量が大きいく。解析モデル 1, 2 とともに鉛直変位は A 点で最大の値を示した。上載荷重の大きさによらず、端部における

変位量は、支承なしの方が、支承ありの場合のそれよりもわずかに大きい。端部の沈下が支承なしが大きいにもかかわらず、中央部の最大沈下量は両者ともほぼ等しい。図-3より、上載荷重20kN/m<sup>2</sup>の場合の最大鉛直変位の値は2.1cm、40 kN/m<sup>2</sup>の場合の最大鉛直変位の値は4.1cmであり、圧縮ひずみに換算するとそれぞれ約0.6%、約1.1%であった。また、図-4に解析モデル2の上載荷重20 kN/m<sup>2</sup>におけるウレタンに作用する圧縮ひずみ分布図を示す。図-4より、ウレタン表面の端部（図-4中のB、C点）に最大圧縮ひずみが生じている。

図-5にモデル2の上載荷重20 kN/m<sup>2</sup>におけるウレタンに生じる圧縮応力の分布図を示す。図-5より、両端のウレタンが薄い部分を除くと、中心に向かうほど圧縮応力が大きくなっており、中心付近の値は約25kN/m<sup>2</sup>である。ウレタンの中心部において荷重を支持しているといえる。図示していないが、モデル1の場合でも図-5と類似した応力分布を示したが、モデル2に比べて中心付近に生じた圧縮応力の範囲は小さかった。

一方、床版と橋台に挟まれた部分のウレタンにおいては、ウレタンに生じる最大圧縮応力は約63kN/m<sup>2</sup>であり、従来の軽量盛土工法におけるウレタンの許容圧縮応力は60kN/m<sup>2</sup>を上回る結果となった。これは、ウレタンの厚さが13cmと薄いことや該当箇所の変位量小さいが、圧縮ひずみが大きい値を示したことが要因であると考えられる。

表-2に3つの解析モデルおよび2種類の荷重条件における、各部材に発生する最大圧縮応力を示す。表-2より、モデル1における橋台に作用する最大圧縮応力の値は、モデル2と比べて約1/6に減少した。このことから、ウレタン充填による下部構造への負担の軽減が期待される。

5. まとめ 本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) ウレタンに発生する最大圧縮応力は、床版と橋台で挟まれたウレタンの厚さが一番薄い箇所に発生し、その値は63kN/m<sup>2</sup>であった。これは、従来の発泡ウレタン軽量盛土工法におけるウレタンの許容圧縮応力を上回っているが、局所的であるため今後この点についての検討が必要である。また、ウレタンの最大鉛直変位は上載荷重20 kN/m<sup>2</sup>の場合、2.1cm、40 kN/m<sup>2</sup>の場合、最大鉛直変位は4.1cmと僅かであった。
- 2) 支承なしの場合、橋台に生じる最大圧縮応力は、支承ありの場合と比べて約1/6に減少した。
- 3) 本解析結果から、上載荷重が20 kN/m<sup>2</sup>程度の中小規模な橋梁に本工法を適用できることを示した。

今後は、単純桁橋を模した模型梁に対する荷重実験および数値解析を実施し、解析結果の妥当性を明らかにしていく予定である。

謝辞 本研究は、宮崎大学横田漢名誉教授、鹿児島大学北村良介名誉教授をはじめとするRBH技術研究会に多大なご協力を戴いた。関係者各位に感謝を表します。

参考文献 1)国土交通省：老朽化の現状・老朽化対策の課題 <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf> (閲覧日令和2年3月5日) .2)村上遼, 神山惇, 福林良典, 審良善和, 吉田茂雄: 老朽化橋梁から軽量盛土への更新技術の確立に向けた取り組み, 第54回地盤工学研究発表会, pp.1519-1520, 2019.7.3)土木研究センター：現場発泡ウレタン超軽量盛土設計・施工マニュアル, 2008.4)土木研究センター：現場発泡ウレタン軽量盛土材料「フォームライトW」, 2006. 5)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IIIコンクリート橋・コンクリート部材編, pp46-53, 2017.6)日本道路協会：道路橋示方書・同解説II鋼材・鋼部材編, pp.61-63, 2017.

表-1 解析に用いた材料物性値

	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )
床版	0.167	24.5	2.5×10 <sup>7</sup>
支承	0.3	77	2.0×10 <sup>8</sup>
橋台	0.2	24.5	2.5×10 <sup>7</sup>
ウレタン	0.05	0.35	3980

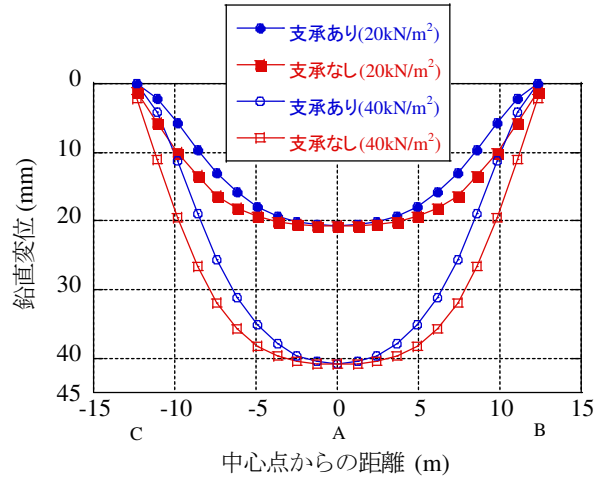


図-3 ウレタン表面の中心からの距離と鉛直変位の関係

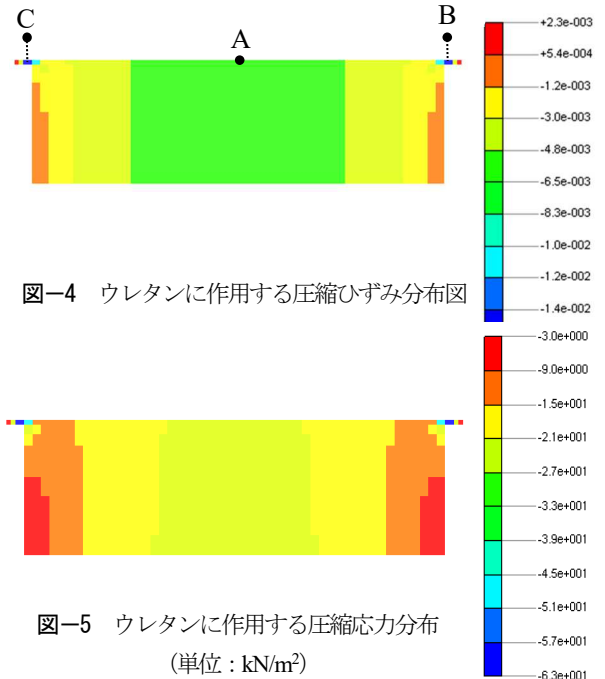


図-4 ウレタンに作用する圧縮ひずみ分布図

図-5 ウレタンに作用する圧縮応力分布 (単位: kN/m<sup>2</sup>)

表-2 各部材に発生する最大圧縮応力 (単位: kN/m<sup>2</sup>)

解析モデル	20kN/m <sup>2</sup>		40kN/m <sup>2</sup>	
	ウレタン	橋台	ウレタン	橋台
モデル1 (支承あり)	22	1000	43	2000
モデル2 (支承なし)	63	170	120	250
モデル3 (ウレタンなし)	—	7400	—	15000

現場発泡ウレタン軽量盛土材料「フォームライトW」, 2006.