

論文 交通渋滞道路における地下道及び鉄道高架橋建設による環境便益

小嶋 克宏*1・堺 孝司*2・入谷 祥王*3・草薙 悟志*4

要旨：土木構造物の建設による社会的便益と環境便益を評価することが重要であるが、これまで環境便益についてはほとんど検討されていない。本研究では、慢性的な交通渋滞交差点における地下道建設および鉄道高架橋建設による直接的な環境負荷と、渋滞解消による間接的環境負荷低減効果を検討し、これらの構造物建設による環境便益を総合的に評価した。その結果、構造物の建設に関しては、CO₂およびSO_xは資材製造時に、またNO_xは施工時に多く排出されること、構造物建設は自動車交通による負荷を低減させること、などが明らかになった。

キーワード：インベントリ分析, 排出原単位, 環境負荷, 環境便益, 交通渋滞

1. はじめに

最近、ますます人々の環境に対する関心が高まってきている。土木構造物の建設においても環境に対する配慮が求められている。土木学会は、「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」¹⁾を刊行している。土木構造物の建設による社会的便益と環境便益を評価することが重要であるが、これまで環境便益についてはほとんど検討されていない。

本研究では、慢性的な交通渋滞を解消することを目的とした地下道および鉄道高架橋を建設する際に発生する直接的な環境負荷と交通改善による間接的な環境負荷低減効果を検討し、地下道及び鉄道高架橋建設による環境便益を総合的に評価した。

2. 構造物建設による環境負荷評価

2.1 対象構造物の概要

地下道は、6車線を有する南北及び東西の一般国道交差点の渋滞解消を目的に、東西方向に片側1車線ずつ建設されたものである。鉄道高架

橋は、地下道の東側に現在建設中で、踏み切りでの一時停止解消を目的としている。図-1に地下道および鉄道高架橋の位置図を示す。

2.2 インベントリ分析

地下道および鉄道高架橋建設による環境負荷を、各種の環境負荷原単位を用いて定量的に評価する。環境負荷原単位は、産業連関表に基づく型枠²⁾を除き、積み上げ法による原単位³⁾を用いた。

(1) 資材製造・輸送・施工

建設に用いられた資材は、コンクリート材料、コンクリート、鉄筋、型枠、基礎砕石およびセメント系硬化材である。コンクリート材料は、水、普通セメント、高炉セメント、細骨材、粗

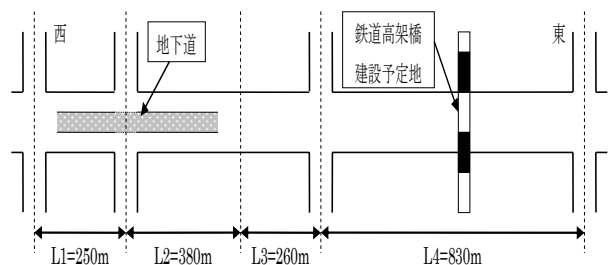


図-1 地下道および鉄道高架橋の位置

*1 香川大学大学院 工学研究科安全システム建設専攻 (正会員)

*2 香川大学 工学部安全システム建設工学科教授 工博 (正会員)

*3 四電技術コンサルタント (株) 道路部

*4 四電技術コンサルタント (株) 土木技術部 (正会員)

骨材，混和剤である。

資材や施工機械は，必要な場所に輸送されて初めて利用できるため，輸送による環境負荷も考慮する必要がある。輸送に関する項目は，コンクリート材料，コンクリート，鉄筋，基礎碎石，仮設材，施工機械である。輸送量，輸送手段，輸送距離について個別に調査して必要な数量を求めた。

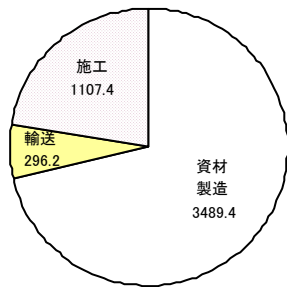
施工については，コンクリート工，鉄筋工，碎石基礎工，土工，中間杭工，土留め工，連続壁工がある。

表-1 に，地下道および高架橋建設の各段階における CO₂，SO_x および NO_x 排出量を示す。図-2 に，地下道建設時の CO₂，SO_x および NO_x 排出における資材製造，輸送および施工の割合を示す。CO₂ に関しては，資材製造が全体の約 71% を占め，次いで施工が約 23% となる。SO_x については，資材製造が全体の約半分，施工と輸送がそれぞれ 1/4 となっている。一方，NO_x は，施工によるものが全体の半分以上を占め，次いで資材製造によるものが約 33% となってい

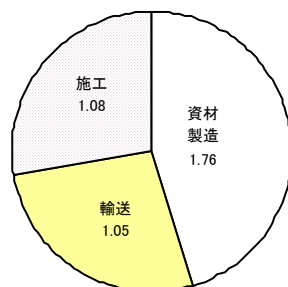
る。図-3 に，高架橋建設時の CO₂，SO_x および NO_x 排出における資材製造，輸送および施工の割合を示す。地下道建設による負荷量と比較してみると，CO₂ の資材製造の割合が約 10% 増え，施工が約 10% 減少している。SO_x は輸送での割合が約 5% 増え，その代わりに資材製造の割合が約 5% 減少している。NO_x は資材製造の割合が約 8% 増え，施工の割合が約 8% 減少している。

表-1 構造物建設時の負荷排出量 (t)

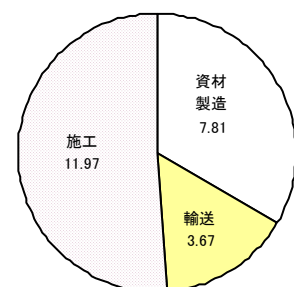
建設 構造物	建設 段階	CO ₂ 排出量	SO _x 排出量	NO _x 排出量
地下道	製造	3489.4	1.76	7.81
	輸送	296.2	1.05	3.67
	施工	1107.4	1.08	11.97
	合計	4893.0	3.89	4.29
鉄道 高架橋	製造	2300.3	1.27	4.29
	輸送	138.6	0.94	1.79
	施工	343.9	0.82	4.50
	合計	2782.8	3.03	10.58



(a) CO₂ 排出量 (t)

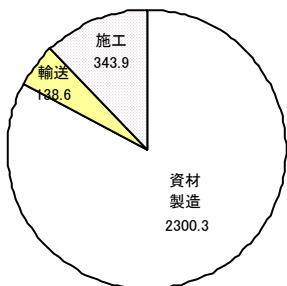


(b) SO_x 排出量 (t)

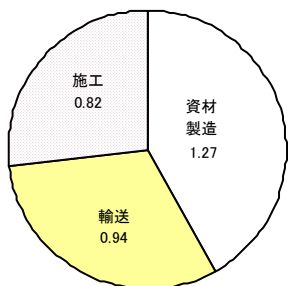


(c) NO_x 排出量 (t)

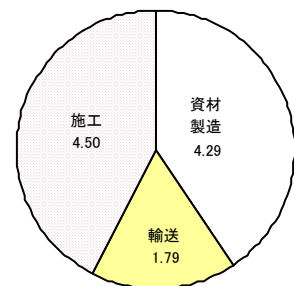
図-2 CO₂，SO_x および NO_x 排出における各段階の割合（地下道建設）



(a) CO₂ 排出量 (t)



(b) SO_x 排出量 (t)



(c) NO_x 排出量 (t)

図-3 CO₂，SO_x および NO_x 排出における各段階の割合（高架橋建設）

(2) 消費資源量

資材製造、輸送および施工における資源消費量を表-2に示す。輸送車両や施工機械で消費した燃料は、エネルギーの原単位³⁾を用いて石油に換算した。また、消費燃料データがないものについては、CO₂排出量からエネルギーの原単位を用いて燃料の量を算出し、それを石油に換算した。非金属資源は、セメント原料、細骨材、粗骨材、基礎砕石の合計である。鉄は鉄筋、木材は型枠によるものである。資材製造における熱源や電力は、石油換算で考慮した。

2.3 統合化

地下道建設による環境負荷は、CO₂排出、NO_x排出、SO_x排出、石油使用、非金属使用、鉄使用、および木材使用であり、これらの各項目は性質の違うものであり、環境に与える影響も異なるので、比較が困難である。そこで、統合化手法によりこれらを1つの指標に変換することを考える。統合化には、LIME³⁾の統合化係数を用いることとする。表-3に、温室効果ガス、酸性化寄与物質、都市域大気汚染、および資源消費の、影響領域毎の統合化係数を示す。構造物建設における各インベントリ負荷量と、それらに統合化係数を乗じたものを表-4に一括して示す。

表-2 構造物建設時の資源消費量 (t)

構造物	資源	材料製造	輸送	施工	合計
地下道	石油	208.8	112.9	424.1	745.9
	非金属	28956.0	—	—	28956.0
	鉄	1075.1	—	—	1075.1
	木材	16.7	—	—	16.7
鉄道 高架橋	石油	199.7	52.8	131.7	384.3
	非金属	8268.3	—	—	8268.3
	鉄	3654.9	—	—	3654.9
	木材	33.6	—	—	33.6

表-3 統合化係数 (kg⁻¹)³⁾

負荷の種類	温室効果ガス	酸性化寄与物質	都市域大気汚染		資源消費
			線源*	点源**	
CO ₂	0.942	—	—	—	—
NO _x	—	24.8	114	82	—
SO _x	—	34.7	589	589	—
石油	—	—	—	—	2.06
非金属	—	—	—	—	0.06
鉄	—	—	—	—	0.65
木材	—	—	—	—	62.60

*輸送・施工に関わるもの

**工場等での製造に関わるもの

3. 自動車交通に関する環境負荷評価

3.1 評価の範囲

ここでは、地下道と鉄道高架橋を含む区間の自動車交通による環境負荷について検討する。ただし、地下道は完成し供用されているが、鉄道高架橋は完成していない。そこで2つのケースに分けて環境負荷を評価した。図-4に評価の範囲の概要を示す。

CASE 1 は地下道が建設された交差点のみの交通量、旅行速度を対象とし、地下道の建設前後で自動車から発生する環境負荷を比較したもので、CASE 2 はCASE 1 に鉄道高架橋建設予定地を含む区間を対象とし、地下道建設前に発生

表-4 統合前後の建設負荷

負荷の種類	地下道建設の負荷量		高架橋建設の負荷量	
	統合前 (kg)	統合後	統合前 (kg)	統合後
CO ₂	4862629	4580596	2785261	2623716
NO _x	23503	3011664	11698	1475959
SO _x	3934	2453496	1915	1194380
石油	745897	1536549	384277	791611
非金属	28956001	1708404	8268340	487832
鉄	1075075	696648	3654896	2368373
木材	16677	1043995	33584	2102378
合計	—	15031353	—	11044250

していた環境負荷と地下道および鉄道高架橋完成後に発生する環境負荷を比較した。

3.2 交通量

交通量調査⁴⁾によると地下道建設前の1日当たりの交通量は、交差点西側で42600台、東側で28700台、地下道建設後は交差点西側で55400台、東側で44000台である。建設後の交通量は、建設前に比べて交差点西側で12800台、東側で15300台増加している。このように、地下道建設により交通量が増加しているため、単純に考えれば、自動車交通による環境負荷が増加することになる。交通量の増加は、他の路線を利用していた自動車が地下道を利用するようになったものであると考えられる。つまり、地下道を利用する方が、運転距離あるいは時間が短縮されるメリットがあるためであり、環境負荷を考えるとこのような利用路線のシフトは全体として環境負荷を低減させると考えられる。これらの影響を詳細に検討することは困難であることから、ここでは単純化して、交通量の増加分による環境負荷は考慮しないこととした。具体的には、地下道建設後の交通量から増加分を差し引いて、地下道建設前と交通量が同じになるようにした。これは、このような仮定によって少なくとも全体としての環境負荷量を過小に見積もることにはならないと考えられるからである。

3.3 自動車交通による環境負荷の算定方法

交通量は、考慮する区間の交差点の東西方向の流入、流出量を用いた。自動車は、乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車に分類し、7時から19時までの1時間毎の通過台数と旅行速度(km/h)、対象区間の距離(m)などの実測データと速度別および車種別のNOx排出係数⁵⁾(g-NOx/km・台)を用いてNOxの排出量を算定した。なお、実際には測定していない時間帯の交通量も考慮すべきではあるが、データが無いためここでは検討の対象としないこととした。図-5に計算に用いたNOx排出係数を示す。

自動車交通による環境負荷量として、NOx排

出量に加えてCO₂排出量と石油消費量を算定する必要がある。まず、乗用車と小型貨物車はガソリンを燃料とし燃費を12km/lと仮定する。バスと大型貨物車は軽油を燃料とすると仮定する。エネルギーの原単位³⁾を用いて、NOx排出量からガソリン・軽油の総消費量を算定した。次に、これらの燃料消費量からエネルギー原単位を用いてCO₂排出量と石油消費量を算定した。

次にこれらの負荷量を統合化することにより単一指標にする。CO₂、SOxおよびNOxの統合化係数が必要となるが、ここでも前述したLIMEの統合化係数を用いて算出した。

3.4 各ケースの環境負荷評価

(1) CASE 1

地下道建設前の環境負荷は、図-4に示す1時間毎のaおよびb地点での流入、流出量を用い、交通速度はL1、L2区間での各1時間毎の平均速度を用いて算定した。

地下道建設後の環境負荷は、図-6および図-7に示す地下道の速度の実測値と側道の速度の仮定値を用いて算定した。仮定値は、実測デー

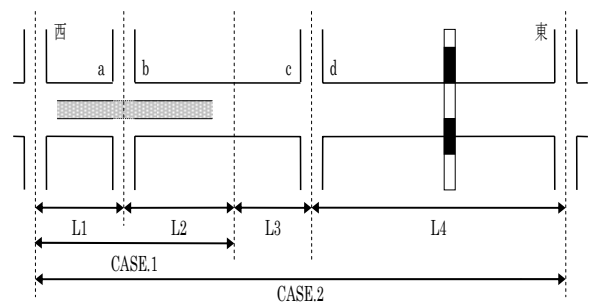


図-4 評価の範囲

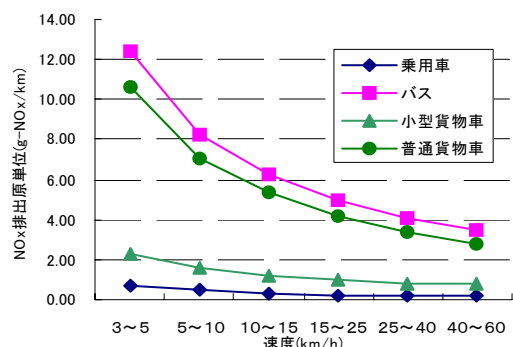


図-5 車種・速度別NOx排出原単位⁵⁾

タを参考に、**図-6**についてはL1区間で建設前より20km/h速度が上昇すると仮定し、L2区間では建設前の速度を用いた。**図-7**についてはL1区間で建設前の速度を用いて、L2区間では建設前より20km/h速度が上昇すると仮定した。

1日当りの環境負荷算出結果を**表-5**に示す。地下道建設による各環境負荷低減量は、CO₂排出量が1.4t、NO_x排出量が4.1kg、石油消費量が0.55tとなった。

(2) CASE 2

地下道建設前の環境負荷は、**図-4**に示す1時間毎のa, b, cおよびd地点での流入、流出量を用い、交通速度はL1, L2, L3およびL4区間での各1時間毎の平均速度を用いて算定した。

地下道および鉄道高架橋建設後の環境負荷は、鉄道高架橋が完成していないため、速度を仮定して算定した。速度は、実測データを参考にして、**図-8**に示すように西から東への交通は、L4区間で20km/h、L3区間で10km/h速度が上昇すると仮定した。また、**図-9**に示すように東から西への交通は、L4区間で20km/hの上昇があると仮定した。

1日当りの環境負荷算出結果を**表-6**に示す。地下道および高架橋建設による各環境負荷低減量は、CO₂排出量が1.9t、NO_x排出量が6.0kg、石油消費量が0.75tとなった。

4. 構造物建設による環境負荷に関する総合評価

図-10、**図-11**に、CASE 1, CASE 2の負荷量および負荷低減量と供用開始からの年数の関係を示す。この図から、CASE 1の場合の地下道建設時の環境負荷量は、約14年で自動車交通の環境負荷低減分により相殺されることがわか

表-5 1日当りの環境負荷算出結果(CASE 1)

負荷の種類	統合前の負荷量		統合後の負荷量	
	地下道建設前 (kg)	地下道建設後 (kg)	地下道建設前	地下道建設後
CO ₂	5554.4	4176.3	5232	3934
NO _x	15.7	11.6	2184	1606
石油	2215.9	1667.1	4565	3434
合計			11982	8974

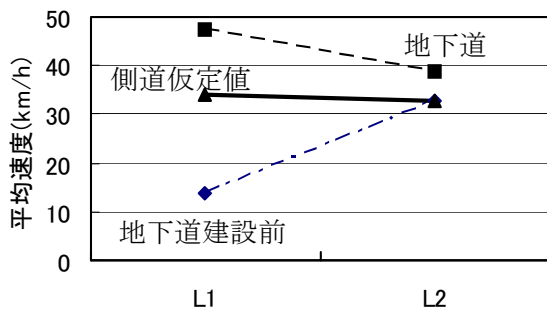


図-6 地下道建設後の側道の速度仮定(西→東)

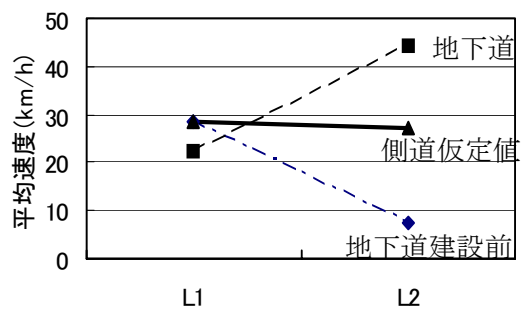


図-7 地下道建設後の側道の速度仮定(東→西)

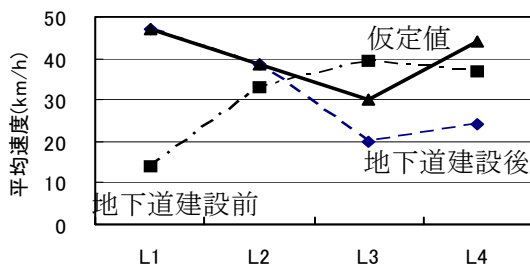


図-8 地下道・高架橋建設後の各区間の速度の仮定(西→東)

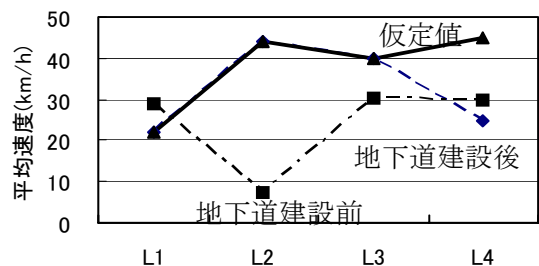


図-9 地下道・高架橋建設後の各区間の速度の仮定(東→西)

表-6 1日当りの環境負荷算出結果(CASE 2)

負荷の種類	統合前の負荷量		統合後の負荷量	
	地下道建設前	地下道建設後	地下道建設前	地下道建設後
	(kg)	(kg)		
CO ₂	12205.4	10323.7	11497	9725
NO _x	34.7	28.7	4822	3985
石油	4868.8	4120.5	10030	8488
合計			26349	22198

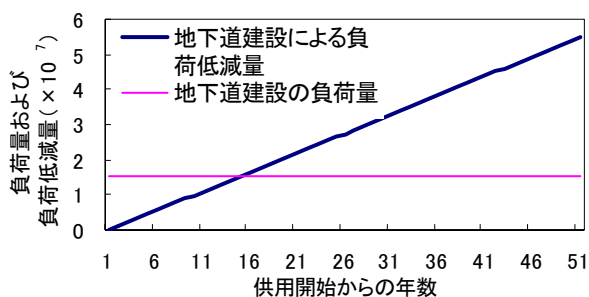


図-10 負荷量および負荷低減量(CASE 1)

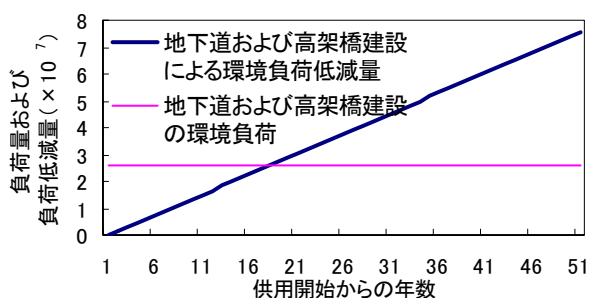


図-11 負荷量および負荷低減量(CASE 2)

る。また、CASE 2の地下道および高架橋建設時の環境負荷量は、約17年で自動車交通の環境負荷低減分により相殺されることがわかる。それ以降は、地下道および高架橋建設の効果として環境負荷低減が継続的に蓄積されることを意味する。

このように、本論文で示す考え方により、コンクリート構造物建設による環境負荷と環境便益の総合的な評価が可能となる。

5. 結論

本研究の範囲および仮定において以下のこと

が言える。

- (1) 地下道建設による環境負荷に関しては、CO₂排出は、資材製造で多く3分の2以上を占める。SO_x排出は、資材製造がおおよそ全体の半分、施工と輸送がそれぞれ約1/4となった。また、NO_x排出については、施工によるものが全体の半分を占め、資材製造によるものが約3分の1を占める。高架橋建設によるCO₂排出量は、地下道建設によるものより10%程度大きくなっているが、鉄筋コンクリートの場合、資材製造によるものがその大部分を占めると言える。
- (2) 地下道のみに着目した場合、地下道建設後の自動車交通による環境負荷は、CO₂排出、NO_x排出、および石油消費が地下道建設前と比べてそれぞれ約25%程度減少する。また、地下道および高架橋を建設することによって自動車交通による環境負荷は約15%程度減少する。
- (3) コンクリート構造物の建設による環境負荷と環境便益は、本論文に示すような方法で評価することが可能である。

今後より多くのケーススタディを積み重ね、その中から環境便益に関する一般化を試みる必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案)、コンクリートライブラリ125, 2005
- 2) 建築学会：建物のLCA指針, 1999
- 3) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価(その2)、コンクリート技術シリーズ62, 2004
- 4) 香川河川国道事務所：平成16年度香川河川国道事務所事業成果
- 5) 環境省：自動車排出ガス原単位および総量に関する調査, 2001
(http://www.erca.go.jp/taiki/taisaku/id_jyoukyou.html)