

(33) 大規模補修工事最適化支援システムの構築

Development of optimization support system in large-scale repair construction

保田敬一¹・川上順子²・若槻晃右²・兒玉 崇²・甲元克明³

Keiichi Yasuda, Yoriko Kawakami, Kousuke Wakatsuki, Takashi Kodama and Katsuaki Komoto

抄録：本研究では、大規模補修工事の規制手法について、GA を用いた最適化手法を検討し、アプリケーションを構築する。具体的には、（補修費＋減収＋危険コスト）を最小とする補修工事の最適規制手法、すなわち、土日2日間でのショート規制、大規模ミドル・ロング規制、大規模通行止めのうち、どの規制手法がよいかを効率的に求めることである。構築したアプリケーションを用いて、特定の路線あるいは路線中のある限定された区間を対象として、規制手法の比較を容易に行うことを目指す。また、H21 実施の3号神戸線大規模補修工事の工事種別選定の妥当性検証を行った。

キーワード：大規模補修工事, GA, 減収, 最適化, 都市高速道路

Keywords : large scale repair, GA, income decrease, optimization, urban expressway

1. はじめに

阪神高速道路は交通量の多い大動脈であるため、補修工事による交通渋滞は問題となることから、年々増え続ける補修工事への打開策として、1982年以降、原則毎年1路線において7日から8日間通行止めをすることにより工事を集中的に行う手法を実施している。この大規模補修工事の実施にあたっては、最適補修タイミングの設定（実施路線の優先順位付け）を阪神高速道路の橋梁マネジメントシステム（H-BMS）^{1),2)}により行っている。その上で、補修工事実施路線を通行止めとするか、車線規制とするかを意志決定している。決定された工事対象路線において、交通量の減少が減収に与える影響と安全性の兼ね合いの中で工事の有効性を数値化し、所定の安全率を確保しながら減収を最小限に抑えるための工事計画の最適化が必要となる。

本研究では、特定の路線を対象に、路面の損傷状態が把握できているとして、補修費、減収および危険コストの和を最小とする補修工事方法（通行止めまたは車線規制）、施行量、施行日数の組合せを遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms, 以下、GA と略す）を用いて求める。そして、最適な補修工事選定を支援するためのシステムを構築する。構築したシステムを用いて、過去の大規模補修工事実施事例を対象に、結果の妥当性を検証する。

2. 条件設定

(1) 補修費

補修費 $[R_o]$ は式(1)に示すように、舗装補修費 $[r_p]$ と伸

表-1 損傷ランクごとの打替ルール・施工費および舗装劣化の推移確率

現在の舗装損傷ランク	打替ルール	OKランクからの推移確率(12年後)	施工費(通行止め工事でのRC床版施工費を1とした場合)			
			通行止め工事		車線規制工事	
			鋼床版	RC床版	鋼床版	RC床版
A	表基層	35%	1.66	1.00	1.72	1.10
B	表基層	40%	1.66	1.00	1.72	1.10
C	表層	25%	0.49		0.53	

RC床版の場合

縮装置補修費 $[r_e]$ の合計とした。舗装データ（最新の点検結果による現在の舗装の損傷ランク、舗装面積、床版形式）、施工費（表層打替および表基層打替の規制種別毎（通行止め時、規制工事時）費用）を入力値とし（表-1参照）、補修対象舗装面積に補修単価を乗じて算出した。

$$R_o = r_p + r_e \tag{1}$$

伸縮装置は、点検による損傷判定ランクより補修の要否を判断するのではなく、形式ごとに想定している取替え（補修）周期に達しているかどうかで判断した。

(2) 減収

減収 $[R_i]$ は、路線の平均的交通量 $[t]$ に通行料金 $[r]$ （大型車と小型車料金の加重平均）、施工日数 $[d]$ 、工事実施時の阪神高速利用取りやめ率 $[c]$ より求めた（式(2)参照）。なお、利用取りやめ率は、過去の実績より通行止め時と規制工事時の値を設定した。

$$R_i = t \cdot r \cdot d \cdot c \tag{2}$$

(3) 日あたり施工量

補修工事に要する施工日数は工事種別毎（土日シヨ

1：正会員 博(工) (株)ニュージェック 大阪本社 道路グループ

(〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20, Tel: 06-6374-4678, E-mail: yasudakc@newjec.co.jp)

2：正会員 工修 阪神高速道路(株) 保全交通部 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3, Tel: 06-4963-5589)

3：正会員 工修 阪神高速技術(株) 工事部 (〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7, Tel: 06-06-6110-7200)

ート規制, 大規模ミドル・ロング車線規制, 通行止め)に日あたり施工量を設定した。補修対象面積(判定ランク a,b,c)に RC 床版, 鋼床版ごとに細分した日あたり施工量で割ることで施工日数が算出できる。表-2 に日あたり施工量の一例を示す。この値は積算工事用の舗装標準舗設量およびヒアリングより決定した。また, この日あたり施工量は標準値であり, 現状の施工実態に合わせるために各々に投入する班数を乗じる処理をしている。

(4) 取りやめ率

減収算出のパラメータの一つである取りやめ率(阪神高速道路に乗るのをやめた)は, 路線ごとに過去の大規模補修工事での交通量調査(実績)より算出した。神戸線(神戸西宮)での取りやめ率の例を表-3 に示す。神戸線では京橋を境に東西で補修工事実施時の迂回路があるかないかで取りやめ率が変化している。

(5) 危険コスト

通行止め工事時には工事の効率性を考えて未損傷区画(1レーン1径間を1区画とする)も併せて打ち替えを行うことが有利であることから, コスト算定にあたっては損傷区画に挟まれた4径間以内の未損傷区間は併せて補修するというルールを設定した(図-1参照)。規制工事の場合は損傷区画のみ補修とした。

危険コスト $[R_d]$ は, 隣接して補修する費用 $[r_n]$ と品質低下の影響 $[r_q]$ を考えた(式(3)参照)。舗装を打ち替えないことにより将来発生する施工費と考え, 次期工事時期を12年後(平均的通行止め工事周期)とした時に現在健全な舗装が3ランク劣化する確率をそれぞれ設定した(表-1参照)。また, 通行止め工事と規制工事とでは施工品質に差が発生するため, 規制工事での補修費用に一定の率(0.05)を乗じることで品質低下の影響分を考慮している。

$$R_d = r_n + r_q \quad (3)$$

$$r_q = 0.05 \cdot R_o \quad (4)$$

ここに, r_q : 車線規制での品質低下影響コスト, R_o : 車線規制工事での補修費, なお, 通行止めでの品質低下影響コストはゼロとする。

3. GAによるモデル化

(1) 最適化指標

最適化の指標は, 補修費 $[R_o]$ +減収 $[R_i]$ +危険コスト $[R_d]$ の最小化とした。目的関数を式(5)に示す。

$$\text{目的関数: } f = \Sigma(R_d + R_i + R_o) \rightarrow \min \quad (5)$$

(2) GAパラメータ

用いたGAのパラメータを表-4に示す。なお, 交叉は通常の1点交叉(規制区間および通行止め区間)

表-2 日あたり施工量の例

	大規模補修①			
	1車線規制		通行止め	
班数→	1		1	
	表層のみ	表基層	表層のみ	表基層
RC床版	2400	1200	4000	2000
鋼床版	1200	600	2000	1000

表-3 取りやめ率の例(神戸線[神戸-西宮])

		迂回路なし	迂回路あり
大規模通行止め		60	44
車線規制	大規模ロング	40	30
	大規模ミドル	30	20
	土日規制	20	10
		実績	推定

表-4 GAのパラメータ

項目	パラメータの値、手法
個体数	200
世代数上限	150
突然変異確率	30%
選択手法	エリート保存方式(適合度上位20%)
交叉手法	1点交叉
終了条件	世代数=世代数上限



図-1 隣接OK区間補修の考え方

とし, 他に, 施行日数小数点部を低減するための区間改良, 強制的単位区間移動などを考慮した。

(3) コーディング

各車線は径間ごとに番号が割り当てられており(例えば, 神戸線では1~702), 分割数を指定すると乱数により任意の区切り位置が選定される。例えば, 3分割だと, 1区間目が1~205, 2区間目が206~482, 3区間目が483~702となる。本研究では, 区切り位置の線列(整数)を各個体の記号列とする方法を採用した。

(4) 施行日数の小数点部を低減させる方法

本研究では, 施行日数の小数点部(切り上げて整数にした時の施行日数から元の小数点を含む施行日数を引いた値)に着目した。施工日数小数点部が少ないということは, 各区間の施工日数を切り上げて合計した施工日数が最小施工日数と同じか, あるいは差が非常に少ないことを意味する。施工日数は減収に直接影響するため, 切り上げた施工日数と元の切り上げる前の施工日数の差は出来るだけ小さいことが望ましい。差が大きくなると施工日数が増加するためである。

実際の施工日数は, 元の施工日数(切り上げる前)に施工日数小数点部を加えた値と等しくなる。このように, 施工日数小数点部が小さい方が施工日数最小値との差が小さくなり, 減収最小値に近い値になる。

施工日数の関係は、式(6)のようになる。

$$D_r = D_c + D_m \quad (6)$$

ここに、 D_r ：切り上げた施工日数、 D_c ：施工日数、 D_m ：施工日数小数点部である。

この式を最小にするには、できるだけ施工日数小数点部を小さくすることである。なぜなら、施工日数 D_c は A,B,C,OK ランクの舗装面積が一定であれば、大規模補修あるいは土日規制を選ぶと一義的に決まるためである。

以上、本研究で構築した GA プログラムにはこの施工日数小数点部を出来るだけ小さくするような処理を組み込んでいる。具体的には、1つの解に含まれる複数の施工区間における施工日数小数点部が 0.3 を超える場合は施工区間の開始径間あるいは終了径間を単位径間 (2) だけ移動するという方法を採用した。どちらに移動するかは、隣接する施工区間の施工日数小数点部の大きい方を優先した。

4. 車線規制工事における減収最小となる組合せ

車線規制工事においては、投入する班数により日あたり施工量および施工日数が変化する。すなわち、日あたり施工量と投入する班数がわかれば、単位面積当たりの施工日数が把握できる。施工日数の変化は減収に直接影響を与えるため、車線規制延長区分 (ロング規制, ミドル規制, ショート規制) ごとに規制工事種別 (大規模補修あるいは土日規制) を変化させ、減収が最も小さくなる組合せを算出した。

減収が最も小さくなるのは、取りやめ率 × (単位面積あたりの) 施工日数 × 交通量が小さくなるケースとなる。投入する班数の組合せによって、短い延長の区間を取りまとめるなどして規制区間延長を変える必要がある。投入する班数の組合せを表-5に示す。上り線・ロング規制では、4.16667 (施行日数) × 1.00 (交通量) × 0.37 (取りやめ率) = 1.54167 が減収比率となる。単位面積あたり施行日数は 10,000/(1,200 × 2) = 4.16667 で計算できる。

別途 GA によるシミュレーションを行った結果の減収と取りやめ率 × 施行日数 × 交通量の組合せによる算出例の比較を表-6に示す。GA によるシミュレーションでは、施行日数の切り上げなどの関係で、特に規制延長が長くなるロング規制やミドル規制では組合せによる算出方法と GA による算出方法による減収の比率が一致するというわけにはいかないが、ショート規制では全て両者の比率は同じになっていることが確認できる。

表-5 投入する班数の組合せ

	日あたり施工量 [RC床版・表基層]	10000m2あたり施行日数	班数の組合せ						備考	
			A	B	C	D	E	F		
通行止め	大規模補修	2000	5	1	2	3	4	3	2	上限4
車線規制	大規模補修	1200	8.3333	1	2	3	3	2	2	上限3
	土日規制	800	12.5	1	2	2	2	1	1	上限2

表-6 組合せによる算出方法と GA による算出方法の比較

松原線		ケース	比率					
			A		B		C	
			組合せによる算出	GAによる算出	組合せによる算出	GAによる算出	組合せによる算出	GAによる算出
上り線	ロング規制	3.0833	2.6979	1.5417	1.4646	1.0278	1.0021	
	ミドル規制	2	1.9	1	1	0.6667	0.65	
	ショート規制	1.0502	1.0502	0.5251	0.5251	0.5251	0.5251	
下り線	ロング規制	3.0833	2.8797	1.5417	1.4866	1.0278	0.9911	
	ミドル規制	2	1.9811	1	1.0179	0.6667	0.75	
	ショート規制	0.9966	0.9967	0.4983	0.4983	0.4983	0.4983	
		ケース	D		E		F	
			組合せによる算出	GAによる算出	組合せによる算出	GAによる算出	組合せによる算出	GAによる算出
上り線	ロング規制	1.0278	1.0021	1.5417	1.4646	1.5417	1.4646	
	ミドル規制	0.6667	0.65	1	1	1	1	
	ショート規制	0.5251	0.5251	1.0502	1.0502	1.0502	1.0502	
下り線	ロング規制	1.0278	0.9911	1.5417	1.5708	1.5417	1.5708	
	ミドル規制	0.6667	0.75	1	1.0189	1	1.0189	
	ショート規制	0.4983	0.4983	0.9966	0.9966	0.9966	0.9966	最小値

●日施工量 (m2/日・班) と投入する班数

班数	大規模補修①						土日規制②	
	1車線規制		2		2		2	
表層のみ	表基層	表層のみ	表基層	表層のみ	表基層			
RC床版	2400	1200	4000	2000	1600	800		
鋼床版	1200	600	2000	1000	800	400		

●規制工事に伴う交通影響 (とりやめ率) ※値は参照シートから引用

規制方法	区間延長	迂回 (%)		とりやめた	阪神高速のとりやめ率 (%)	補修工事種別
		阪神高速	阪神以外			
ロング規制	6,000 m以上	10	10	10	40	大規模補修①
ミドル規制	3,000 m以上	0	10	0	20	大規模補修①
ショート規制	3,000 m以下	0	2	0	10	土日規制②

●通行止め工事に伴う交通影響 (とりやめ率) ※値は参照シートから引用

規制方法	区間延長	とりやめなかった		とりやめた	阪神高速のとりやめ率 (%)	補修工事種別
		阪神高速	阪神以外			
全線通行止め		49.8	18.7	31.5	50.2	大規模補修①

●平均利用料金 (普通車と大型車の荷重平均値) ※値は参照シートから引用

558.6839円

●施工品質低下による影響係数 (α) ※値は参照シートから引用

規制工事	0.95	≤ 1.0
→補修費にこの係数を乗じたものを危険コストとし	通行止め	1.00
→危険コスト = 補修費 × (1 - α)		≤ 1.0

図-2 パラメータ設定画面の例

5. システム構築

本研究で提案した GA を用いた最適補修区間探索ルーチンを用いてアプリケーションを構築した。分析・出力を行うモジュールは DLL を用いて作成しており、利便性を考えて EXCEL 上から入出力およびパラメータ設定・選択をできるようにしている。図-2にパラメータ設定画面の例を、図-3に結果出力画面の例を示す。出力シートの上からコスト合計の小さい順に解が表示される。この結果を取りまとめたものが、図-

4に示す土日でのショート規制，大規模ミドル・ロング規制，大規模通行止めのうち，どの規制手法がよいかの比較である。

6. 過去の大规模補修工事による結果検証

H21に実施された3号神戸線（京橋～湊川）の大規模補修工事（1車線規制）について，本研究で構築したGAプログラムを用いて検証を行った。図-5にその比較結果を示す。図-5より，通行止めよりも規制工事の方が総コスト（補修費+減収+危険コスト）が安くなる。この結果は，実際に実施された工事種別（1車線規制）とも一致する。この影響として考えられるのが，一つは通行止めの場合の取りやめ率である。この値はH21の京橋～湊川間の工事における予測値（88.1%）を用いても，H19実施の麻耶～芦屋間の工事での取りやめ率（50.2%）を用いても1車線規制有利という結果は変わらなかった。

通行止めにおいて補修費（支出）が半分近くを占めるが，その補修費の約9割が伸縮装置の取替え工事である。支出だけでみると，舗装の補修工事費の差（規制と通行止め）は約1割であるが，舗装の割合が非常に小さいため（約1割），通行止め工事と規制工事とはそれほど差は生じない。現実の大規模補修工事では，舗装や伸縮装置だけでなく，RC床版補修やその他付帯工事も含めて工事日数は検討されるため，一概に何日という設定は難しい。

規制工事における舗装の日施工量は積算上，750m²/日・班を基本としているが，本比較では現状の工事の実態を考慮して2班を投入した。通行止めの場合，施工日数を上限7日と仮定しているが，全補修対象舗装面積12,960m²（a,b,cランク合計）からだけだと4日あるいは5日で施工できると考えられる。

7. おわりに

本研究では，大規模補修工事の規制手法について，GAを用いた最適化手法を検討した。具体的には，（補修費+減収+危険コスト）を最小とする補修工事の最適規制手法（土日でのショート規制，大規模ミドル・ロング規制，大規模通行止めのうち，どの規制手法がよいか）を求めた。このように，構築したGAプログラムを用いて，特定の路線あるいは路線の中のある区間を対象として，土日2日間でのショート規制，大規模ミドル・ロング規制，大規模通行止めなどの比較を容易に行うことができるようになった。また，構築したGAプログラムによる過去の大规模補修工事の工事種別選定の妥当性検証を行った。

これまで，経験的に行われていた大規模規制を伴う

G=1, 車線	開始区間	終了区間	延長	舗装補修費	伸縮補修費	補修対象舗装面積	施工日数	取りやめ率	減収	隣接OK区間補修	品質低下
1	1	27	4204	51089949	57860000	10924.39	2.7378	0.2	23799934	29406018	10894995
1	98	208	4265	33171500	31390000	7406.14	1.9033	0.2	15866622	3503139	6456150
1	209	301	4219	37856702	32070000	8249.07	2.1181	0.2	23799934	5065495	6992670
1	302	441	4188	77343080	197820000	14552.87	3.8487	0.2	31733245	22023238	27516308
1	442	587	4299	62978368	104230000	12940.73	3.8976	0.2	31733245	6227341	16720837
1	588	717	4236	68900342	125760000	12069.2	3.9179	0.2	31733245	21834181	19466034
cost合計			1215242571	25412	331339940	549130000	66143	18.423	日数の158666225	88059412	88046994

G=1, 車線	開始区間	終了区間	延長	舗装補修費	伸縮補修費	補修対象舗装面積	施工日数	取りやめ率	減収	隣接OK区間補修	品質低下
1	1	32	1315	25669974	23970000	5395.74	1.8579	0.1	7933311.2	14404475	4963997
1	33	129	4266	37855073	44390000	8101.73	2.1647	0.2	23799934	14185731	8224507
1	130	248	4837	46359696	36910000	10231.12	2.735	0.2	23799934	5350280	8326970
1	249	398	5125	66066481	142630000	12667.66	3.3032	0.2	31733245	16360206	20869648
1	399	548	4315	67452744	134740000	13240.34	3.8275	0.2	31733245	6450252	20219274
1	549	717	5554	87935973	166490000	16506.41	5.1544	0.2	47599867	21834181	25442597
cost合計			1213701593	25412	331339940	549130000	66143	19.043	日数の166599536	78585124	88046994

G=1, 車線	開始区間	終了区間	延長	舗装補修費	伸縮補修費	補修対象舗装面積	施工日数	取りやめ率	減収	隣接OK区間補修	品質低下
1	1	27	1033	18358583	17220000	4279.39	1.3373	0.1	7933311.2	12230051	3557858
1	28	151	5416	49919998	53660000	10326.13	2.9734	0.2	23799934	19238466	10358000
1	152	296	6099	51981527	46480000	11541.57	2.804	0.4	47599867	4420616	9846153
1	297	403	3147	58004284	141090000	10788.36	2.8848	0.2	23799934	17871626	19909428
1	404	570	4750	73924895	152880000	14749.4	4.1418	0.2	39666556	4938832	22680490
1	571	717	4967	79150653	137800000	14458.55	4.7278	0.2	39666556	21834181	21695065
cost合計			1231516866	25412	331339940	549130000	66143	18.869	日数の182466159	80533772	88046994

図-3 結果出力画面の例

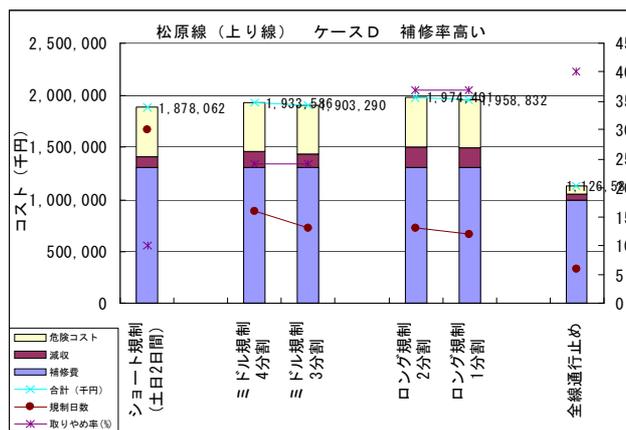


図-4 工事種別毎の比較例（松原線）

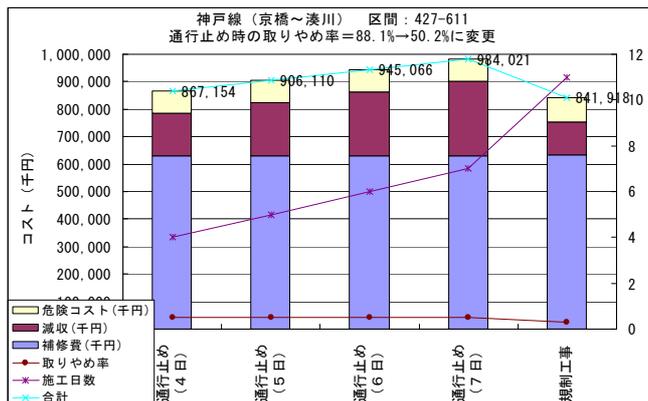


図-5 通行止めと車線規制の比較（神戸線）

補修工事計画について，（補修費+減収+危険コスト）という数値的(客観的)な指標により説得力をもたせ，アカウントビリティが向上したものと考える。

参考文献

- 1) 坂井康人, 井上裕司, 小林潔司: 都市高速道路の舗装修繕における同時施工の有効性検証, 土木学会第 26 回建設マネジメント研究論文集, Vol.15, pp.159-168, 2008 年
- 2) 中林正司, 西岡敬治, 小林潔司: 阪神高速道路の維持管理の現状と課題, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.4, pp.494-505, 2007 年 12 月