

疲労破壊輪数による舗装構造設計の一例

中村治¹

¹中日本建設コンサルタント株式会社（〒460-0003 名古屋市中区錦1丁目）

舗装計画交通量は、設計期間における平均的な大型車日交通量とされ、これまでの一般的な舗装設計においては、この大型車日交通量と設計CBRから諸基準で設定された必要TAを満たす標準舗装構成を計画することが多い状況であった。本稿では、工用道路を例に、舗装設計における性能指標の一つである疲労破壊輪数に着目して、計画道路を通過する累積49kN換算輪数を設定し、これを満たす舗装構成を検討することにより、最適な舗装構成を定量的に計画した構造設計例を紹介するものである。

Key Words : 舗装計画交通量, 疲労破壊輪数, 信頼性, TA

1. はじめに

本報告は、工用道路を例にして、舗装設計における性能指標の一つである疲労破壊輪数を用いた舗装構造設計の具体的な手法について報告するものである。

対象路線は、愛知県新城市に位置し、第二東名高速道路鳳来地区の土運搬および資材搬入に用いる工用道路のうち、浦沢工用道路（現況林道）と栗衣工用道路（現況市道）の2路線である。



図 - 1 路線位置図

上記2路線は、工用道路として利用された後には林道および市道として移管される計画となっており、工事完了後の引き渡しを見据えた舗装設計を行う必要があった。

2. 検討課題

浦沢工用道路の計画交通量は、工事ピーク時の想定工事車両台数から約400台/日と設定されている。そして、この大部分が工事運搬車であるということから、1日当たりの大型車交通量も400台/日と設定され、当交通量に応じた舗装交通区分は、N5(旧区分でB交通)という工用道路としては極めてサービスレベルの高い舗装構成となる状況にあった。

表 - 1 舗装計画交通量と交通区分

新区分	舗装計画交通量 (台/日・方向)	旧区分	必要TA (CBR20)
N7	3000以上	D交通	26
N6	1000 ~ 3000	C交通	20
N5	250 ~ 1000	B交通	17
N4	100 ~ 250	A交通	13
N3	40 ~ 100	L交通	11
N2	15 ~ 40	-	-
N1	15未満	-	-

工事完了後の大型車交通量は極めて少ないものと予想されるなか、当該舗装構成について、工用道路としての特性を勘案し、検討を行う必要があった。

中部地整等において「工事中の迂回路の舗装は1ランク下」の基準¹⁾はあるが、H13年から導入された性能規定²⁾の流れを考慮し、本設計では、工事車両台数を1日当たりの交通量とするのではなく、トータル交通量から累積の通過輪荷重(疲労破壊輪数)に換算して、舗装設計を行うものとした。以下にその概略フローを示す。

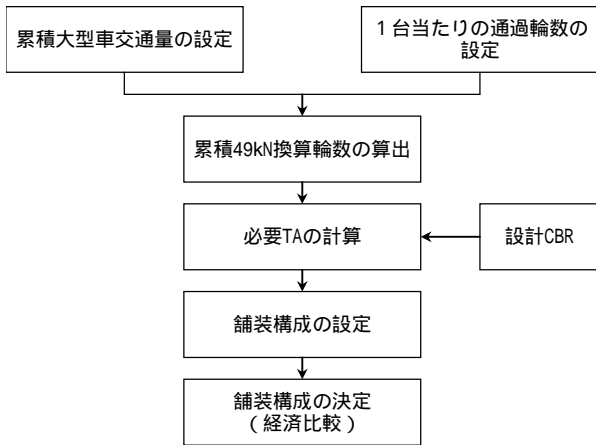


図 - 2 検討フロー

また、栗衣工事用道路においては、現道の舗装構成に準じるものとしており、当該舗装構成について疲労破壊輪数を算出し、その妥当性を確認するものとした。

3. アスファルト舗装の構造設計

(1) 疲労破壊輪数について

疲労破壊輪数は、舗装の構造に関する必須の性能指標の一つであり、「舗装路面に49kNの輪荷重を繰り返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数...」と定義されている。疲労破壊輪数の基準値としては舗装計画交通量に応じ下表のとおり規定されている。

表 - 2 疲労破壊輪数の基準値

旧区分	新区分	舗装計画交通量 (台/日・方向)	疲労破壊輪数 (回/10年)
D交通	N7	3000以上	35,000,000
C交通	N6	1000 ~ 3000	7,000,000
B交通	N5	250 ~ 1000	1,000,000
A交通	N4	100 ~ 250	150,000
L交通	N3	40 ~ 100	30,000
	N2	15 ~ 40	7,000
	N1	15未満	1,500

また、設計期間における交通量および輪荷重が設定されている場合等には、以下の式により累積49kN換算輪数を求めることができる。

$$N = \sum_{i=1}^n (N_{49} \times 365 \times a_i) \quad N_{49} = \sum_{j=1}^m \left[\left(\frac{P_j}{49} \right)^4 \times N_j \right]$$

ここに N_{49} : 1日1方向当たりの49kN換算輪数
 P_j : 番目の輪荷重の大きさに区分される輪荷重の代表値
 m : 輪荷重の大きさに区分数 $j=1 \sim m$
 N_j : P_j の通過数
 N : 設計期間の累積49kN換算輪数
 n : 設計期間
 a_i : N_{49} に対する*i*年後の伸び率 $i=1 \sim n$

上記式は、4乗則を用いており（「交通荷重が舗装に与えるダメージは輪荷重と標準荷重49kNの比の4乗に比例して指数関数的に増加する」）舗装の疲労破壊は大型車の交通荷重による影響が支配的であることがわかる。

(2) 信頼性を考慮した設計

具体的な舗装断面の設計方法としては、設定された信頼度に対する下記の計算式を用いて、路床の設計CBRと疲労破壊輪数から求められる必要等値換算厚TAを下回らないように舗装各層の厚さを決定する。

$$\left. \begin{aligned} \text{信頼度90\%} \quad TA &= \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \\ \text{信頼度75\%} \quad TA &= \frac{3.43N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \\ \text{信頼度50\%} \quad TA &= \frac{3.07N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \end{aligned} \right\} \text{式 - 1}$$

ここに、TA : 必要等値換算厚
 N : 疲労換算輪数
 CBR : 路床の設計CBR

ここで信頼度とは、例えば信頼度90%とした場合、実際の交通量が疲労破壊輪数に達した時点で、設計で設定されたひび割れ率を超える舗装の割合が10%ということである。（10%の舗装面積が舗装破壊に至る。）すなわち、路線の重要度等に応じて信頼度を小さくすることで初期建設コストを抑えた（設計期間中の適切な維持作業を前提として）設計が可能となる。

4. 舗装設計例その1 (浦沢工事用道路)

(1) 基本条件の設定

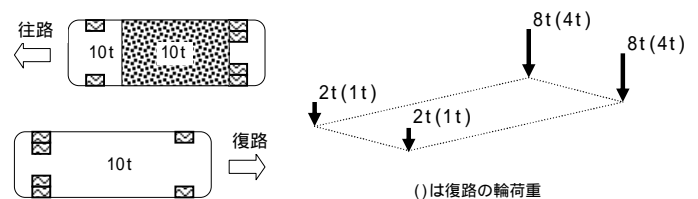
本道路を利用する工事車両台数は、概略の工事数量から以下のとおりと想定される。

表 - 3

全体工事量		1台当たり運搬量	全体工事車両数 (/)
土量	361,000 m ³	6 m ³ /台	60,167 台
Co量	15,500 m ³	6 m ³ /台	2,583 台
合計			62,750 台

ここで載荷される輪荷重の分布状況は、車両総重量20tの土運搬車および生コン車を想定し、往路で20t[(前輪2t、後輪8t)×2]、復路で10t[(前輪1t、後輪4t)×2]と設定した。

図 - 3 輪荷重分布の設定状況



1往復で(2t+8t+1t+4t)の輪荷重が通過する。

また、設計CBRとしては、現地の地質状況から CBR=20%と想定した。

(2) 疲労破壊輪数及び必要TAの設定

上記で設定した輪荷重分布状況をもとに輪荷重の範囲ごとに割り当てた代表値から本道路を通過する全体の49kN換算輪数を算出したところ、下表のとおり333,253輪となった。

表 - 4 累積49kN換算輪数の計算(浦沢)

	Pj	NLj	$i = (Pj/5)^{1/4}$	$i \times NLj$	備考
輪荷重の範囲	代表値 (t)	輪数 (輪)	換算係数	49kN輪荷重換算輪数(輪)	
~1	0.5	62,750	0.0001	6.275	復路前輪
1~2	1.5	62,750	0.0081	508.275	往路前輪
2~3	2.5		0.0625	0	
3~4	3.5	62,750	0.2401	15066.275	復路後輪
4~5	4.5		0.6561	0	
5~6	5.5		1.4641	0	
6~7	6.5		2.8561	0	
7~8	7.5	62,750	5.0625	317671.875	往路後輪
8~9	8.5		8.3521	0	
9~10	9.5		13.0321	0	
10~11	10.5		19.4481	0	
11~12	11.5		27.9841		
12~13	12.5		39.0625	0	
13~14	13.5		53.1441	0	
14~15	14.5		70.7281	0	
N49			333,253 輪		

上記輪数とCBR=20%より式 - 1 を用いて必要な等値換算厚(TA)を計算すると下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned} \text{信頼度90\%: } TA &= \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = 11.96 \text{ cm} \\ \text{信頼度75\%: } TA &= \frac{3.43N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = 10.68 \text{ cm} \\ \text{信頼度50\%: } TA &= \frac{3.07N^{0.16}}{CBR^{0.3}} = 9.56 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) 舗装構成の決定

上記で求めた必要TAと仮定した舗装構成のTAの差に応じた舗装修繕費を含めた経済比較を行ったところ、表 - 5 の状況となった。なお、現況林道は大部分が未舗装区間であるが、一部区間で舗装されており、現況舗装構成案として信頼度50%以下の案を比較の対象とした。

比較の結果、当初から信頼度90%の舗装構成とした場合が最も経済的となった。

表 - 5 舗装構成の経済比較(浦沢)
< 現道舗装構成案 (100%の舗装修繕) >

名称	a	舗装構成(cm)	TA	工費(円/m ²)
表層(As)	1.00	5	5	1,100
上層路盤(粒調)	0.35	10	3.5	490
合計		15	8.5	1,590
TA状況	信頼度50%に -1.06 不足			
打ち換え(100%)		5		1,460
(切削オ-バ-レイ)		(3)		(1,290)
打ち換えの場合のm ² あたり工事費				3,050
(切削オ-バ-レイの場合のm ² あたり工事費)				(2,880)

< 信頼度50%案 (50%の舗装修繕) >

名称	a	舗装構成(cm)	TA	工費(円/m ²)
表層(As)	1.00	5	5	1,100
上層路盤(粒調)	0.35	15	5.25	670
合計		20	10.25	1,770
TA状況	信頼度50%に 0.69 余裕			
打ち換え(50%)		5		730
(切削オ-バ-レイ(50%))		(3)		(645)
打ち換えの場合のm ² あたり工事費				2,500
(切削オ-バ-レイの場合のm ² あたり工事費)				(2,415)

< 信頼度90%案 > 【採用案】

名称	a	舗装構成(cm)	TA	工費(円/m ²)
表層(As)	1.00	5	5	1,110
上層路盤(粒調)	0.35	10	3.5	490
下層路盤(RC40)	0.25	15	3.75	550
合計		30	12.25	2,150
TA状況	信頼度90%に 0.29 余裕			
打ち換え		-		
(切削オ-バ-レイ)		-		
m ² あたり工事費				2,150
(2,150)				

5. 舗装設計例その2(栗衣工事用道路)

(1) 基本条件の設定

当該道路は、現況において簡易舗装が敷設されており、工事用道路としての改良範囲が僅かであることを勘案し(待避所、曲線部の拡幅が主)、現道の舗装構成を踏襲するものとした。

表 - 6 現道舗装構成(栗衣工事用道路)

表層	密粒度As	4cm
上層路盤	粒度調整碎石	11cm

表 - 6 の舗装構成は、「愛知県道路構造の手引き (H16.4)」³⁾に記載の設計CBR12%の標準舗装構成であることから、設計CBRについてはCBR12%を用いることとした。

(2) 対応交通量の検証

上記の現道舗装構成のTAから、疲労破壊輪数を逆算し、対応可能な工事用車両を検証する。

表 - 7 現況TA (栗衣工事用道路)

	材料	層厚	等値換算係数	Ta'
表層	アスファルト	4cm	1	4.0
上層路盤	粒度調整砕石	11cm	0.35	3.9
合計		15cm		7.9

現況TAは上表よりTA=7.9となり、CBR=12%と式 - 1 から疲労破壊輪数Nを逆算すると下記のとおりとなる。

信頼度90% N= 9,211 回 N2(簡易舗装)に相当
 信頼度75% N= 18,656 回 N2(簡易舗装)に相当
 信頼度50% N= 37,307 回 N3(L交通)に相当

表 - 8 1往復当たりの49kN換算輪数

Pj	NLj	i =(Pj/5) ⁴	$i \times NLj$	備考
代表値 (t)	輪数 (輪)	換算係数	49kN輪荷重換算輪数 (輪)	
0.5	1	0.0001	0.0001	復路前輪
1.5	1	0.0081	0.0081	往路前輪
2.5		0.0625	0	
3.5	1	0.2401	0.2401	復路後輪
4.5		0.6561	0	
5.5		1.4641	0	
6.5		2.8561	0	
7.5	1	5.0625	5.0625	往路後輪
8.5		8.3521	0	
9.5		13.0321	0	
10.5		19.4481	0	
11.5		27.9841		
12.5		39.0625	0	
13.5		53.1441	0	
14.5		70.7281	0	

N49 5.3108 輪

この疲労破壊輪数Nを大型車交通量に換算する。浦沢工事用道路と同様に工事車両として20t車を想定し、1往復当たりの49kN換算輪数を求めると、5.3108輪/1往復となる。(表 - 8)

すなわち、舗装が疲労破壊するまでの大型車交通量としては表 - 9以下の通りとなる。

当該道路を利用する工事用車両は1,000台程度であり、信頼度90%における疲労破壊輪数1,734台以下となる。よって、現道舗装構成にて対応可能と判断した。

表 - 9 対応大型車交通量 (栗衣)

信頼度90%	9,211/5.3108= 1,734台/往復
信頼度75%	18,656/5.3108= 3,512台/往復
信頼度50%	37,307/5.3108= 7,024台/往復

6. まとめ

以上の検討を踏まえ、4.の浦沢工事用道路では、想定される実工事用車両台数から必要とされる疲労破壊輪数を算出し、最適な舗装構成を定量的に提案することができた。

また、5.の栗衣工事用道路では、既設舗装のTAから算出した疲労破壊輪数により、現況舗装の工事用道路としての対応可否について検証することができた。

舗装設計に性能規定が導入されて5年あまり経つが、現時点では従来の大型車日交通量から設定された交通区分に対応した標準舗装構成で設計されていることが多いのが実情である。H18に改訂された各種舗装基準⁴⁾においては、従来設計方法(TA法)にあっても性能規定の一つとして位置づけながら積極的な性能設計の普及が望まれている。

対象とする道路が工事用道路として利用されるなど、具体的な実交通量が比較的正確に設定できるような状況においては、本例のように累積49kN換算輪数から必要TAを求め、舗装構成を設定することが可能であり、経済的かつ定量的な舗装設計を行うことができる。

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター：道路設計要領,2000
- 2) (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説,2001
- 3) 愛知県建設部：道路構造の手引き,2004
- 4) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針,2006
(社)日本道路協会：舗装設計便覧,2006