ＤＰを用いた鉄道縦断線設計の最適化モデル*

An Optimization Model for Railway Profile Design Based on Dynamic Programming

叶　霞飛** 青島　縮次郎*** 宿　良****
by Xiafei YE, Naojiro AOSHIMA and Liang SU

1．はじめに

近年，計算技術とコンピュータ技術の進歩に伴って，コンピュータの支援により鉄道整備の低コスト化を目的とする等の，鉄道路線設計の最適システムを構築することが重要な課題となっている．そしてそれは理論的には，ある評価基準を最小にするような三次元空間曲線を決める問題であるが，現実にこの問題を解くための一方法として，平面線設計と縦断線設計のそれぞれの最適化を交互に繰り返して行うことが考えられる．そこから，その体系的な最適化の一サブモデルとして，ある鉄道平面線設計を与件としたときの，鉄道縦断線設計の最適化モデルを構築することが重要な検討課題となっている．

さて，当該分野に関連する既往研究の主要なものを見ると，国内・国外を問わず，道路路線計画・設計に関するものが多い（例えば，参考文献[1)-3)]）．そしてそれらの研究では，主に縦断設計線の設計標高を最適化させる方法について検討しているが，縦断設計線の勾配変更点に関しては手作業によって求めるか，あるいは等間隔(例えば100m)に設定するかであった．また，鉄道縦断線設計の最適化に関する先駆的な研究としては，Б К.Малявский[4)]の提案になる勾配射影法による方法があるが，それも等間隔の勾配変更点をベースにして，主に縦断線の設計標高を最適化させるための方法について検討したものであった．その研究によれば，約２０kmの鉄道縦断線設計の最適化問題に説明変数が２００以上，制約条件が８００以上もあることになり，計算時間がかなりかかるし，縮退する可能性もある．これに対して，筆者らは設計専門家の経験を考慮しつつ，実用的な勾配変更点をコンピュータで自動的に決めた上で，高速処理が可能であるという特長を持つＢスプライン関数を用いた鉄道縦断線設計の最適化モデル（以下では，前モデルと略す）を提案した[5)]．しかし，その前モデルもなお，勾配変更点の取り扱いにおいては最適解を得る保証がないという問題点が残されている．

そこで本研究では，以上の研究成果を参考にしつつ，鉄道縦断設計線における勾配変更点と設計標高を同時に最適化させることを目的として，ＤＰ（動的計画法）を用いた鉄道縦断線設計最適化の新しいモデルを構築する．

2．本研究のフレームと位置付け

（1）目的関数

図－１に示すように，鉄道縦断設計線は勾配変更点の位置ベクトルＸ，及びそれに対応する設計標高ベクトルＹ等によって決められるので，これらの設計変数ベクトルＸ，Ｙを本最適化問題における説明変数とする．そして本研究では，研究方法の本質を失わないように留意しつつ，次式（１）に示すような鉄道縦断線設計に関する総工事コストを目的関数とし，これを次節（２）に示すような設計の制約条件を満たした上で最小にすることをもって，最適化と考えるものとする．

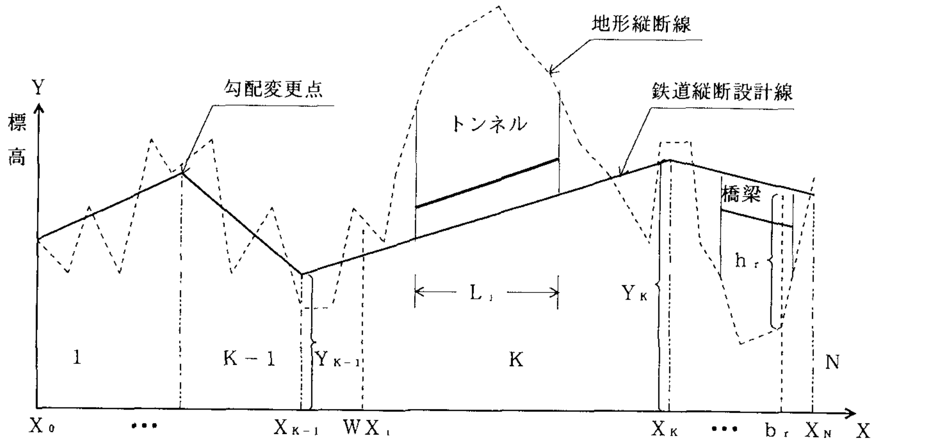
$$\left.\begin{aligned} \min\ & G(X,Y) \\ & =A(X,Y)+B(X,Y)+C(X,Y) \\ \text{s.t.}\ & X,Y \in \text{制約集合} \end{aligned}\right\} \quad \text{---(1)}$$

ここに，

$G(X,Y)$:縦断設計線に関する総工事コスト(万元)

＊キーワード　鉄道計画，縦断線設計，ＤＰ

＊＊学生員　工修　群馬大学大学院博士後期課程　工学研究科
＊＊＊正会員　工博　群馬大学教授　工学部建設工学科
（〒376　群馬県桐生市天神町1-5-1）
（Tel 0277-30-1650　Fax.0277-30-1601）
＊＊＊＊正会員　工博（株)片平エンジニアリンク　交通計画部



図－1　鉄道縦断線設計概念図

A(X, Y):縦断設計線に関する切土や盛土等の土工コスト(万元)

B(X, Y):縦断設計線に関する橋梁コスト(万元)

C(X, Y):縦断設計線に関するトンネルコスト(万元)

$\mathbf{X}:(X_0, X_1, \cdots, X_N)^t$

$\mathbf{Y}:(Y_0, Y_1, \cdots, Y_N)^t$

N＋1:対象縦断設計線の始点と終点を含む勾配変更点の数

そして勾配変更点を境にして，鉄道縦断設計線の長さをN区間に分けると（図－1を参照），対象路線の総工事コストは次式（2）のように，各区間の工事コストの総和で表すことができる．即ち，

$$G(\mathbf{X}, \mathbf{Y})=\sum_{K=1}^{N} G_K(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K) \quad \text{---} (2)$$

但し，

$$G_K(\bullet)=A_K(\bullet)+B_K(\bullet)+C_K(\bullet)$$

となる．ここで，(•)は$(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K)$の簡略であり，$G_K(\bullet)$, $A_K(\bullet)$, $B_K(\bullet)$, $C_K(\bullet)$はそれぞれK番目の縦断線設計区間における総工事コスト，土工コスト，橋梁コスト及びトンネルコストである．また，それらの具体的な表現式は次のとおりである（図‐1を参照）．

$$A_K(\bullet)=\sum_{WX_i \in (X_{K-1}, X_K)} (P_{i-1}\bullet S_{i-1}+P_i\bullet S_i)\bullet \triangle WX_i/2$$

$$(i=1, 2, \cdots, I0)$$

$$B_K(\bullet)=\sum_{b_r \in (X_{K-1}, X_K)} (e_r\bullet h_r^2+f_r\bullet |h_r|+g_r)$$

$$(r=1, 2, \cdots, r0)$$

$$C_K(\bullet)=\sum_{j=1}^{T} PT(L_j)\bullet TK_j$$

$$(K=1, 2, \cdots, N)$$

ここに，

K:始点からの縦断線設計区間の番号

X_K:K番目の勾配変更点から路線始点までの距離(m)

i:始点からの横断面の番号

P_i:i番目の横断面部の土工費用の単価(元/m^3)

S_i:$S_i(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K)$の略，i番目の設計横断面面積(m^2)

WX_i:i番目の横断面部から路線始点までの距離(m)

$\triangle WX_i$:i－1番目の横断面とi番目の横断面間の距離(m)

I0:横断面の総数

e_r, f_r, g_r:地形・地質のタイプに対応して，主要な橋梁のタイプとスパンごとに，予め最小自乗法で求めたr番目の橋脚，または橋台の工事コストに関する係数

h_r:$h_r(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K)$の略，r番目の橋脚，または橋台部の設計標高と地面標高との差(m)

b_r:r番目の橋脚，または橋台部から路線始点までの距離(m)

$r0$:橋梁の橋脚，橋台の総数

$PT(L_j)$:第j本目のトンネルの施工単価(元/m)

L_j:$L_j(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K)$の略，第j本目のトンネルの長さ(m)

TK_j:$TK_j(X_{K-1}, Y_{K-1}, X_K, Y_K)$の略，第j本目のトンネルの区間($X_{K-1}$, X_K)における長さ(m)

T:トンネルの総数

ここで，橋梁部の鉄道縦断線設計に関しては平面設計線と橋梁のスパンを与件として行われるので，縦断線設計標高の変化は主に橋梁の橋脚，橋台部のコストに影響を与えることが考えられる．そこで，目的関数における橋梁のコスト$B_K(\cdot)$については，上記のような定式化を行ったのである．

また単価に関しては，現場で新しい鉄道路線を設計しようとする際に，事前に構造物等の真の単価値を決めることが非常に難しいと考えられるので，本モデルではその取り方として，路線設計の前に，対象地域の地形や地質等で類似している在来線の単価を整理し，その値を地形・地質のタイプごとにモデルへ付与していくこととした．つまり，本モデルでは地形・地質状況からの影響を考慮しつつ，構造物等に対して異なった単価を与えることにしたのである．

さらに，本最適化問題における目的関数である総工事コストに対して，直接的に影響を与える設計変数は設計標高であると思われるが，この設計標高の位置は勾配変更点の位置に左右されるので，勾配変更点もその工事コストに対して，間接的に影響することは間違いないと言える．一方，一般的に言えば，縦断線設計に関する工事コストと設計標高間との関係を陽関数の形で表すことは可能であるが，しかしそれと勾配変更点の位置との関係を陽関数の形で表すことは非常に困難であるのが現状である．

(2) 制約条件

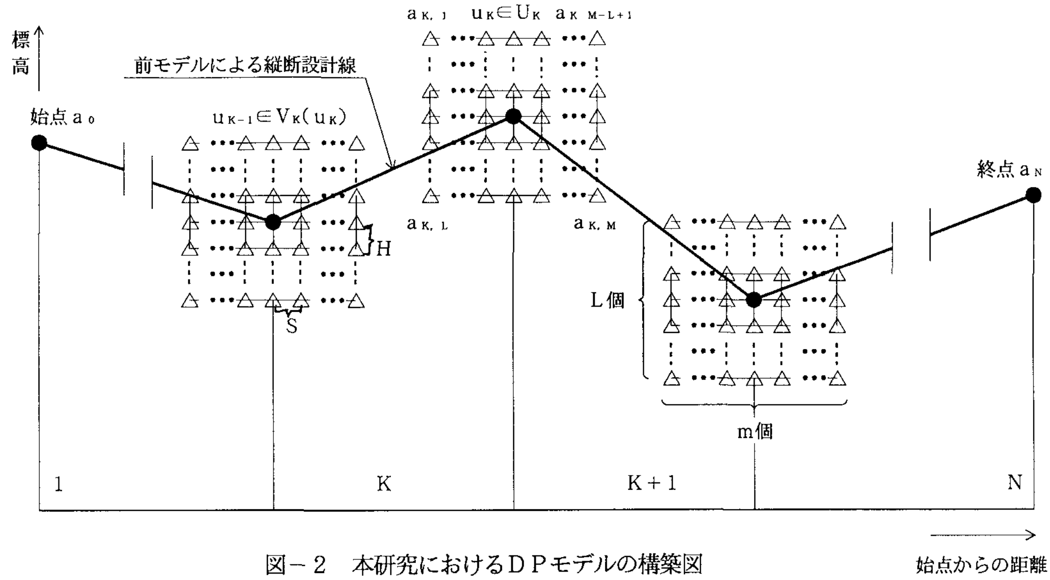
本研究で取り扱っている鉄道縦断線設計に関する制約条件は，主に最大勾配制約，最大隣勾配代数差制約，設計標高の制約，勾配変更点間の最小勾配長制約，及び縦曲線と緩和曲線間の競合制約である．通常，これらの制約条件と設計変数（勾配変更点と設計標高を含む）の関係を明確に定式化することはほぼ可能であるが，しかし本研究では次に述べるような最適化手法を取り入れることにより，より簡略的，実用的な解法を提案するものである．

(3) 本研究の位置付け

以上のような目的関数の構造と従来の研究を踏まえるならば，勾配変更点が予め与えられた場合の最適化問題は目的関数と設計標高，及び制約条件と設計標高との関係を解析的に定式化した上で，一般的に非線形計画法のような最適化手法によって解かれるが，しかし実際には勾配変更点が縦断設計線に大きな影響を与えるので，最適な縦断設計線を捜す際には勾配変更点と設計標高を同時に最適化させることが望ましい．一方，実務的な鉄道縦断設計線の勾配変更点間の距離は普通，50mの倍数を取るのが望ましいとされているので，本研究では勾配変更点を決める際にその原則に従うこととする．そのことから，上述のような鉄道縦断線設計の最適化問題は離散的問題となるのである．

本研究では，最適な勾配変更点を探索するための解析的な定式化の複雑性を回避し，そして本最適化問題の目的関数の構造が式（2）に示したような分離可能性の特徴を持つことを考慮に入れて，上述のような鉄道縦断線設計の最適化問題に適用できる動的計画法[6),7)]（DPと略す)を導入するものである．そうすることにより，目的関数と勾配変更点との関係を陰関数の形で把握できることになり，鉄道縦断設計線の勾配変更点と設計標高を同時に最適化させるような新しいモデルの構築が可能となるわけであり，ここに本研究の特色があると言うことができる．

ところで，DPの手法を実際の最適化問題に適用する際，状態ベクトルの次元という障害が生じる場合があるので，この状態ベクトルの次元の節減は重要な課題になる．この点に関して，縦断線設計の最適化に関する従来の研究[2)]では，勾配変更点は等間隔の形によって与えられていたこともあり，さらには最適な縦断設計線の設計標高の変動範囲を把握しにくいこともあったので，比較的良い縦断設計線を得るためには，勾配変更点間の長さを短く取り，そ



図－２　本研究におけるＤＰモデルの構築図

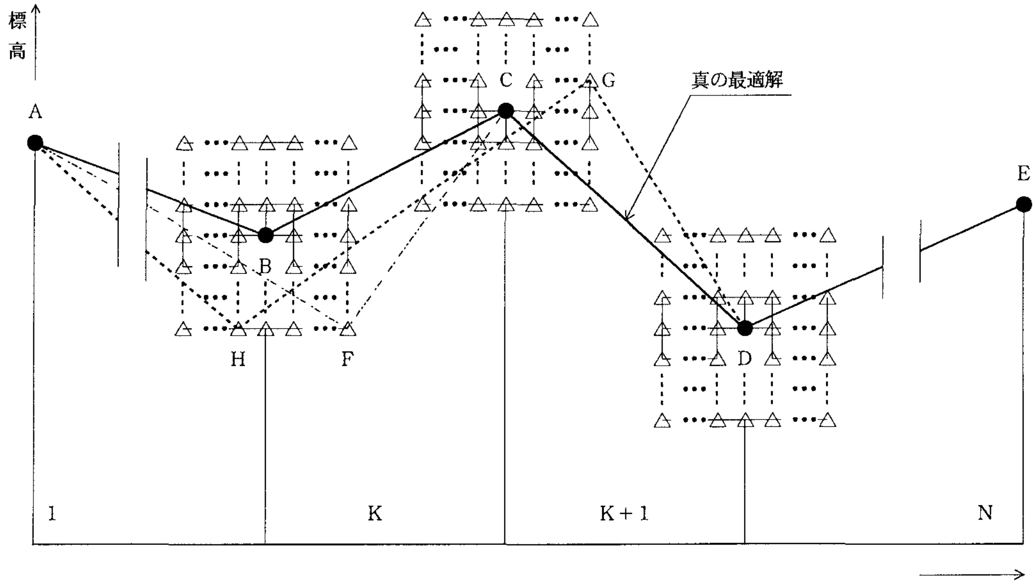
して地形縦断線をベースとする縦断設計線の設計標高の変動範囲を幅広く取るのが通常であった．しかしそうすることは，最適化問題における説明変数の数を急速に増加させ，求解に要する計算時間もかなり増長させることになり，場合によっては状態ベクトルの次元障害により，ある条件下での設計問題が解けない恐れも出てくる．また，鉄道縦断線設計の最適化問題に上述の手法をそのまま適用する場合，制約条件を満たさない場合が出てくるので，実用的な縦断設計線が得られないこともある．これに対し本研究では，筆者等の既往研究[5]で示したＢスプライン関数による鉄道縦断線設計の最適化モデルで得た縦断設計線を本モデルの出発解とすることにより，勾配変更点の数を大いに減少させ，最適な縦断設計線が存在する範囲をかなり縮小させることが可能になることから，本最適化問題のＤＰモデルにおける状態ベクトルの次元を大いに減少させることができることになり，これが本研究のもう一つの特色となっている．

3．本研究におけるＤＰモデルの定式化と求解

（1）ＤＰモデルの定式化[6]

図－１に示すような鉄道縦断設計線のＮ区間をＤＰにおけるＮ段階とすると，このような最適化問題はＤＰ法におけるＮ段階決定過程とみなすことができる（図－２を参照）．本研究では前モデルにより得られた勾配変更点（総個数はＮ＋１個である）とそれに対する設計標高をベースとし，対象縦断設計線をＮ段階に分け，そして始点，終点を除いた各勾配変更点における縦断設計線の位置を中心に，それぞれ横幅をＳ（例えば，50m），縦幅をｈ（例えば，0.1m）とするような，（ｍ－１）×（Ｌ－１）個の格子を作る．本研究では，このようにして作った格子のＭ＝ｍ×Ｌ個の交点（即ち $a_{K,1}, a_{K,2}, \cdots, a_{K\ M}$　Ｋ＝１，２，…，Ｎ）を第Ｋ番目の勾配変更点における鉄道縦断設計線の代替案とする．ここで，第Ｋ番目の勾配変更点における変数を u_K で表し，第Ｋ段階における状態と見なす．この場合，$u_K \in U_K = \{a_{K\ 1}, a_{K,2}, \cdots, a_{K,M}\}$（但し，$U_N = a_N$）である．また，状態 u_K に行けるような状態変数 u_{K-1} 全体の集合を $V_K(u_K) = \{a_{K-1,1}, a_{K-1,2}, \cdots, a_{K-1,M}\}$（但し，$V_1(u_1) = a_0$）として定義する．

ここで，第Ｋ段階における状態 $u_K \in U_K$ から始点までの最適政策（即ち各勾配変更点における最適案）を用いたとき，その状態から始点 a_0 までの工事コストの総和を $f_K(u_K)$ とすると，その $f_K(u_K)$ と一時点前の段階における $f_{K-1}(u_{K-1})$ との間には次の関



図－３　本ＤＰモデルにおける隣勾配代数差制約の処理例

係式（３）が成り立つ．

$$f_K(u_K)=\min_{u_{K-1}\in V_K(u_K)}\{g_K(u_{K-1},u_K)+f_{K-1}(u_{K-1})\}$$

$$(K=1,2,\cdots,N) \qquad \text{---}(3)$$

また，$V_1(u_1)=a_0$であるから，式（３）における$f_0(u_0)=f_0(a_0)=0$であり，$g_K(u_{K-1},u_K)$は状態u_{K-1}から状態u_Kへの工事コストである．そして，式（２）より，$g_K(u_{K-1},u_K)=G_K(\cdot)=A_K(\cdot)+B_K(\cdot)+C_K(\cdot)$となるが，この場合の$X_{K-1}$, Y_{K-1}, X_K, Y_Kはu_{K-1}, u_Kにより決められるのである．

（２）制約条件の処理

本研究では，２．の（２）に記述しているような制約条件の処理に際しては，あるＫ段階において制約条件を満たさない代替案に対し，その段階におけるコストの増量$g_K(u_{K-1},u_K)$を無限大として取り扱うことにする．但し最大隣勾配代数差制約や縦曲線と緩和曲線間の競合制約等の制約条件を上述の考え方で処理しようとすると，通常のＤＰ過程では次に述べるような問題が生じる可能性がある．ここでは最大隣勾配代数差制約の処理例を挙げて，その問題点を摘出し，さらにその問題に対し，本研究が採った解決方法について説明する．

まず，図－３のＫ段階における状態Ｃから見た場合，ＣＦＡ代替案が状態Ｃから始点状態Ａまでの最適案であり，ＣＢＡ代替案がその準最適案であるとすると，通常のＤＰでは準最適案であるＣＢＡ代替案を含む，最適案以外のすべての代替案は棄却され，最適案であるＣＦＡ代替案だけが保存されることになる．

次に，同じ図－３のＫ＋１段階に進んだ状態Ｄから見た場合に，ＤＣＦＡ代替案が最適案，ＤＣＢＡ代替案が準最適案，ＤＧＨＡ代替案が三番目の最適案であったとしても，もし勾配ＣＦと勾配ＣＤ間の代数差が最大隣勾配代数差の制約条件を満たさないとなった場合には，このＤＣＦＡ代替案は棄却されることになる．そしてその準最適案であるＤＣＢＡ代替案がその制約条件を満たしたとしても，その前段階でＣＢＡ代替案が棄却されてしまっているので，状態Ｄから始点状態Ａまでの最適案は準最適案であるＤＣＢＡ代替案ではなく，三番目の最適案であるＤＧＨＡ代替案になってしまう．つまり，真に最適な縦断設計線代替案を逃してしまう恐れがあるということになる．

一般的には，以上の問題点を解決するための方法として，各状態（例えば状態Ｃ）から始点状態Ａまでのすべての代替案を保存しておき，そして次の段階での最適案を判断する際，すべての代替案を比較することが考えられる．しかしそうすると，縦断設計線の代替案の数が多くなりすぎるので，求解のた

めの計算時間が急速に増大するだけでなく，許容時間内で最適な代替案が得られない場合も出てくると思われる．それに対し，本研究ではこの問題を解決するための現実的な一方法として，各状態から始点状態Aまでのすべての代替案の中で，目的関数値が小さい順に一定数の代替案を保存しておくことにする．そして，次の段階で最適な代替案を捜す際にこれらの情報を活用することにより，この問題の効率的な解決を図ることとした．

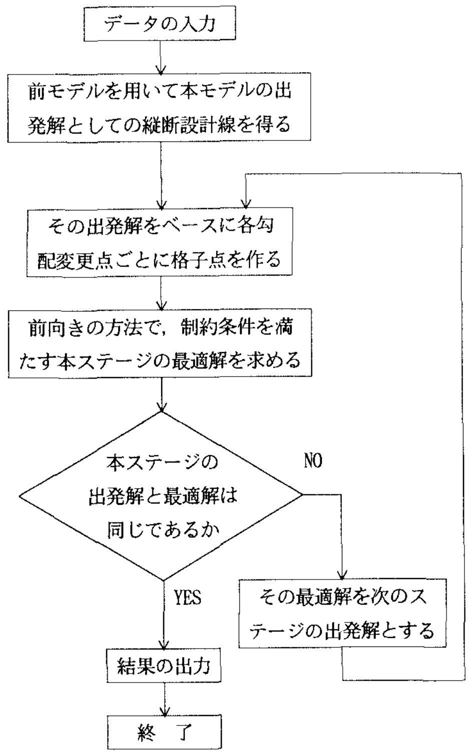
（３）最適な鉄道縦断設計線の求解

前節（２）で述べたような考え方で制約条件をＤＰの過程て処理しながら，ＤＰの関数方程式（３）より，すべての$u_K \in U_K$に対し，各$f_K(u_K)$の値をK＝１，２，•••，Ｎの順に計算し，最終的に$f_N(a_N)$の値を求める．この$f_N(a_N)$は与えられた条件下での最適値である．それから，上の過程と逆に，Ｋ＝Ｎ，•••，２，１の順に，最適政策が求まることになる．このようにすれば，図－２に示す条件下での最適な鉄道縦断設計線を求めたことになる．

言及すべきことは，式（３）より$f_K(u_K)$の値を求める場合，あるu_{K-1}（例えば$a_{K-1,1}$）に対する$f_{K-1}(u_{K-1})$の値は上述のように一定数あるが，しかしそれは予め小さい順に並べておくので，実際の計算に使われるのは隣勾配代数差等の制約が満たされる条件下での最小の$f_{K-1}(u_{K-1})$のみである．つまり，それらのすべてについて比較する必要はないのである．

さらに，本研究ては最適な鉄道縦断設計線が必ずしも予め作った格子点の範囲内に留まらないことを考慮しながら,反復ステージを利用する．つまり,図－２に示す条件下でのＤＰ過程をステージ１とし，そして前ステージの結果を次ステージの出発解とすることにより，前ステージと同じような方法で新しい格子を作って，次々とＤＰ過程を繰り返すということである．また，終了条件については前後２ステージで得られた鉄道縦断設計線が同じならば，それが求めようとする最適な鉄道縦断設計線であるということになる．

以上，本研究におけるＤＰモデルのフローを示したのが図－４である．



図－４　ＤＰを用いた鉄道縦断線設計の最適化フロー

４．本モデルの検証

本研究で提案しているモデルを検証するために，ケース・スタディとして，中国において手作業で設計され，設計の品質が非常に良いと考えられている在来路線を二本取り上げ，本モデルを用いて鉄道縦断線設計の最適化を行った．その計算条件と計算結果の概要は次に述べるとおりである．

今回のケース・スタディに用いた対象路線は丘陵地帯にあり，ケース路線１は長さが約１０．７km，平面曲線の数は９ヶ所，橋梁は３ヶ所，トンネルは１ヶ所，設計標高の制限は４ヶ所である．一方，ケース路線２は長さが約１２．５km，平面曲線の数は９ヶ所，橋梁は７ヶ所，トンネルは２ヶ所，設計標高の制限は４ヶ所である．そして本ケース・スタディの計算条件は次に挙げるとおりである．

①許される最大勾配:いずれも6‰

②許される最大隣勾配代数差:いずれも6‰

③許される隣勾配変更点間の最小長:400m

④トンネル部の排水のためのトンネル区間における縦断設計線の勾配は3‰以上である.

⑤土工コスト:切土5元/m³, 盛土3元/m³

⑥トンネル, 橋梁, 駅, 曲線部等における縦断設計線の最大勾配制約は中国国家標準[8]に従って決める.

また. 本ケース・スタディを行う際, 隣勾配変更点間の距離を５０mの倍数に取るとしたので,格子の横幅Ｓも５０mとし,そして原始資料の精度により,格子の縦幅を０.１mとした. 毎ステージにおける勾配変更点の変動範囲を４００m,設計標高の変動範囲を５mとすることによって,各勾配変更点における格子点(即ち状態変数)の数は４５９個ということになる.

なお,３. の（２）で既に述べたように,最大隣勾配代数差の制約を処理する際, 真の最適な代替案をできる限り逃さないようにするために, 現実的な一方法として, 各状態から始点状態までのすべての代替案の中で, 目的関数値が小さい順に一定数の代替案を保存しておくことが必要となってくる.そこで,本研究ではそれに関するシミュレーションを行ったところ, 各状態における代替案の保存本数を１０本以下にした場合, 一部の対象問題に対し, ある反復ステージで得られた最適解が当該ステージの出発解より悪くなり, つまり反復ステージによる最適過程が最適解に収束しない恐れがあることが示された. 一方, その代替案の保存本数を２０本以上に増加させると, 各反復ステージでも前ステージの結果より悪くなる結果は出なくなり, 順調に最適解に収束する傾向を示すことが明らかとなった. 本研究では, 以上のシミュレーションの結果を踏まえ, また各状態における代替案の保存本数が多ければ多いほど本モデルによる最適解が真の最適解に近くなることを考慮しつつ, 各状態の代替案の保存本数を３０本にすることとした.

以上の計算条件をベースにして, 本研究で提案しているＤＰモデルに相応する鉄道縦断線設計の最適化FORTRANプログラムを組み, HP9000/S730ワークステーションを用いて, 対象ケース路線について本モデルの検証を行った. そして, 本モデル,前モデル,及び手作業の三つの設計手法を比較するために, 同一の対象ケース路線に対し, 同じ精度及び同じ条件で鉄道縦断設計線の最終の工事コストを計算した結果が表－１である.

表－１　ケースの計算結果

種別	項　目	路線－１ (10.7km)	路線－２ (12.5km)
手作業	切土・盛土	325.2	414.6
	橋　梁	316.7	247.6
	トンネル	97.9	217.5
	総工事コスト　A(万元*)	739.8	879.7
前モデル	切土・盛土	321.5	399.4
	橋　梁	316.8	240.6
	トンネル	97.0	215.3
	総工事コスト　B(万元)	735.3	855.3
	節約百分比　(A-B)/A(%)	0.61	2.77
本モデル	切土・盛土	303.8	391.2
	橋　梁	317.4	235.8
	トンネル	91.8	211.5
	総工事コスト　C(万元)	713.0	838.5
	節約百分比　(A-C)/A(%)	3.62	4.68

*１元≒１２円

以上の計算結果から, 本モデルを用いて鉄道縦断線設計の最適化を行うと, 総工事コストは手作業による高品質な鉄道縦断線設計より節約でき, そして主に設計標高の最適化を目的とした前モデルによる鉄道縦断線設計よりもさらに下がることが明らかとなった. このことは鉄道縦断設計線の勾配変更点と設計標高を同時に最適化させたことより生じた結果であると考えることができる.

5　結論

本研究では, Ｂスプライン関数を用いた鉄道縦断線設計の最適化モデルを踏まえ, さらにＤＰの手法を適用した鉄道縦断線設計最適化の新しいモデルを提案した. 本モデルの特徴をまとめると次のようになる.

（１）本研究ではＤＰを用いることにより, 目的関数と設計変数間の関係を陽関数の形で定式化する必要がなくなり, 目的関数とすべての設計変数間の関係を陰関数の形で把握することができるので, 勾配変更点と設計標高を含む鉄道縦断線設計の最適化

が可能となった．

（２）中国における二本の在来路線を取り上げ，本研究で提案しているモデルを適用した鉄道縦断線設計の結果により，勾配変更点と設計標高の同時最適化が有効であることを示すことができた．

（３）本モデルでは，前モデルで得られた鉄道縦断設計線を出発解とすることにより，状態変数ベクトルの次元を大いに節減できるので，最適な鉄道縦断設計線を決めるための所要計算時間も一般的なＤＰモデルよりかなり短縮することができる．

（４）本研究ではＤＰを，最大隣勾配代数差制約等のような制約条件を含む鉄道縦断線設計の最適化問題に適用可能なように，各状態から始点状態までのすべての代替案の中で目的関数の小さい順に一定数の代替案を保存しておくことを提案した．そうすることにより，妥当な最適解が本モデルにより得られることを示した．

参考文献

1) Amkeutz, Emde, Hamester : "EPOP-I (Entwurfsfindung und Optimierung im Strassenbau Benutzerhandbuch)" Beratende Ingenieure Heusch/Boesefeldt, Aachen, 1980.

2) Goh, C.J., Chew, E.P. and Fwa, T.F. : Discrete and continuous models for computation of optimal vertical highway alignment, Transpn. Res, Vol.22B, No.6, pp.399～409, 1988.

3) 枝村俊郎･長尾克宏･笹川耕司 ： 道路路線計画システムの開発，土木学会論文集，No.464/IV-19，pp.83～90，1993.

4) Б.К.Малявский:Использование математических методов оптимизации и ЭВМ приппроектировании, продольного профиля железных дорог, Трансжелдориздат, 1977.

5) 叶霞飛･青島縮次郎･宿良 ： Bスプライン関数を用いた鉄道縦断線設計の最適化モデル，土木学会論文集，No.488/IV-23，pp.101～110，1994.

6) 岩本誠一 ： 動的計画論，九州大学出版会，1987.

7) 鍋島一郎 ： 動的計画法，森北出版株式会社，1983.

8) 中国鉄道部 ： 国家標準--鉄道線路設計規範，中国鉄道出版社，1987.

ＤＰを用いた鉄道縦断線設計の最適化モデル

叶霞飛・青島縮次郎・宿良

本論文では鉄道縦断線設計最適化の新しいモデルを提案する．まず，ＤＰの手法を用いることにより，目的変数と勾配変更点の位置との関係を陽関数の形で定式化する複雑性を回避し，そして鉄道縦断設計線の勾配変更点と設計標高を同時に最適化させることを可能にする．そして，筆者らが開発したＢスプライン関数を用いた鉄道縦断線設計の最適化モデルより得られた鉄道縦断設計線を本モデルの出発解とすることにより，ＤＰモデルにおける状態ベクトルの次元を大いに減少させ，効率的な最適化モデルを構築する．さらに，中国でのデータを用い，提案したモデルの実用性を検証する．

An Optimization Model for Railway Profile Design Based on Dynamic Programming

Xiafei YE, Naojiro AOSHIMA and Liang SU

This paper aims to develop new optimization model for railway profile design. The new model is based on The Optimization Model for Railway Profile Design Using B-Spline Functions. In the new model, the treatment of the formulation of optimizationand the constraints were simplified by using Dynamic Programming. The intersection points of vertical tangentsand the design altitude of the railway profile can be simultaneously and efficiently optimized by the new model. The proposed model is verified by data from P.R.China.