

最適制御理論を用いた浸水制御方法に関する検討

Flooding Control Problem in Urban Area Based on Optimal Control Theory

○ 工修 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 正会員 倉橋 貴彦
工博 中央大学教授 理工学部土木工学科 正会員 川原 睦人

This paper presents the way to control of water level using optimal control theory and finite element method. The shallow water equation is employed for the analysis of the flow behavior. The optimal control theory is utilized to obtain the control value for the objective state value. The Sakawa-Shindo Method is employed as a minimization technique. The Crank-Nicolson method is applied to the temporal discretization. A method for the optimal control of water level has been presented.

1 はじめに

近年，都市域において道路整備や構造物が建設されることにより，浸透域が減少する傾向にある．浸透域の減少は，都市域における浸水ポテンシャルを増加させ，豪雨時には大量の雨水が地表面を流出することとなる．結果として，流下能力の足りない管渠や下流側の水位の状況等により，流入した雨水は，人孔より溢水し道路等が冠水するといった浸水被害を引き起こす．(Fig.1 参照)



Figure 1: 人孔からの溢水状況 (H15.5.8 新大阪駅付近)

近年，管渠の増径や雨水貯留施設の建設の他に，既設管渠の有効利用として，既設管渠の管渠内貯留を考慮した浸水制御方法が考えられている．

本検討においては，この既設管渠を有効利用した制御方法に着目し，以下の Fig.2 に示すような「バイパス管渠」と「制御装置」を使用した水位の制御方法に関して検討する．

本検討の目的は，満水状態の管渠から余裕のある管渠に適切に通水することで，満水状態の管渠の水位を目的とする水位に下げることである．本検討で取り扱う流水は，自由表面を持つ流れを仮定し，流れの現象を表す方程式として，平面二次元の浅水長波方程式を適用する．

キーワード：最適制御理論，有限要素法，Sakawa-Shindo 法，Time Domain Decomposition Method
〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 理工学部 土木工学科，TEL 03-3817-1814，FAX 03-3817-1803

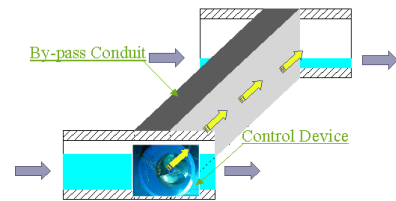


Figure 2: 制御システムのイメージ

また，バイパス水路に設置された制御装置からの適切な通水量 (最適制御量) を求めるために最適制御理論を本制御システムに対して適用する．

最適制御理論を用いた制御問題を取り扱う場合，全時間及び全接点における状態量の保存が必要となる．解析領域が広く，解析時間の長い問題に対しては計算記憶容量の問題から計算ステップ数に制約が付けられる可能性がある．本検討においては，時間ステップ方向に対して分割を行い，各分割区間ごとに最適制御の計算を順次行い計算記憶容量を削減する「Time Domain Decomposition Method」を計算記憶容量削減手法として適用する．最適制御理論で取り扱われる逆問題は，計算されたある状態量（ここで示す状態量とは，本検討においては水位のことを示す．）と目的とする状態量の残差二乗和で構成される評価関数の最小化問題に帰着することができる．本検討において，評価関数の最小化手法に対して Sakawa-Shindo 法を用いる．

数値解析例としては，管渠がバイパス水路によって結合された水路ネットワークの問題を取り扱い，制御システムの妥当性に関して検証を行う．

2 数値解析例

ここでは，制御アルゴリズムの妥当性に関する検証について記す．計算モデル及び有限要素分割図を Fig.3，Fig.4 に示す．有限要素メッシュの総接点数は 603 であり，総要素数は 800 である．流入水は管渠の左端から与えられるものとする．まず，Fig.5 のように流入水を境界条件として仮定し，順解析を行うと Fig.6 に示すように目的点におい

て、水位の時系列変化が得られる。

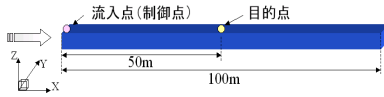


Figure 3: 計算モデル

Figure 4: 有限要素分割図

ここで、Fig.6 に示す水位を最適制御計算における目的水位 η_{obj} とし、流入境界を制御境界として定義すると、Fig.5 に示すような流入水の時系列変化が制御流量 $\bar{Q}$ として求まるはずである。そこで、上に示す最適制御の問題を行うことでプログラムの妥当性に関して検証を行うこととする。

本検討で用いる評価関数を以下のように定義する。

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \int_{\Omega} (\eta - \eta_{obj})^T Q (\eta - \eta_{obj}) d\Omega dt + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \int_{\Omega} \bar{u}^T R \bar{u} d\Omega dt. \quad (1)$$

ここに、 η は最適制御の計算において算出された水位、 η_{obj} は目的とする水位、 $\bar{u}$ は制御流速を意味する。また、 Q 及び R は評価対象の重要度を示す重み係数である。

検証を行った結果、Fig.7 に示すような評価関数が得られ、単調に減少し概ねゼロに収束していることが確認できる。

また、最適制御の計算を行うことで、Fig.8 に示す流入水（制御流量）の時系列変化、及び Fig.9 に示す目的点における水位の時系列変化が得られた。

ここに格子点で示す値は、計算前に仮定した流入水及び目的点における水位を示し、破線は最適制御の計算を行うことで得られた流入水（制御流量）及び目的点における水位の時系列変化を示す。

これらの結果より、最適制御計算を行う前に仮定したデータと最適制御の計算を行うことで得られた結果の間に若干の差異は見受けられるが、波形の時系列変化及びピーク値等より概ね一致していると考えられる。

以上の解析結果を踏まえて、複数管路の問題へ適用し、管路内貯留による浸水制御システムに関して検証を行う。

参考文献

1. T.Kurahashi and M.Kawahara, Water Quality Control by Bank Placement Based on Optimal Control and Finite Element Method, Int J. Numer. Meth. Fluids 2003; 41:319-338

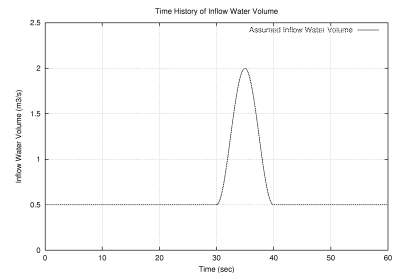


Figure 5: 流入水量の時系列変化

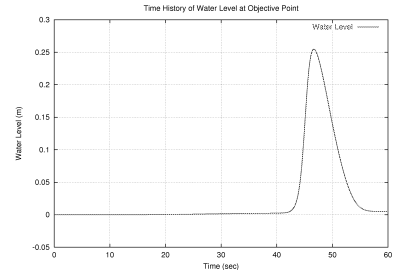


Figure 6: 目的点における水位の時系列変化

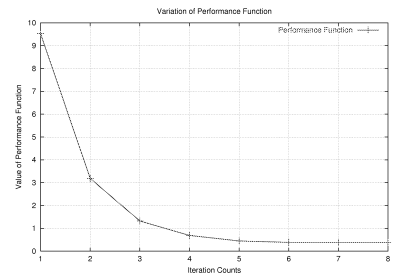


Figure 7: 評価関数の収束状況

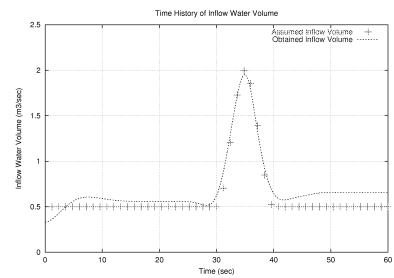


Figure 8: 制御流量の時系列変化

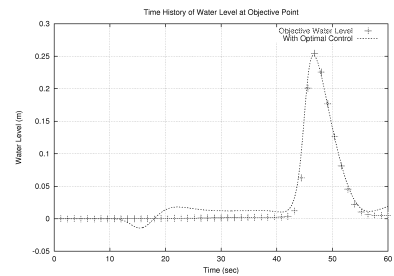


Figure 9: 目的点における水位の時系列変化