

TỐI ƯU HOÁ CHIỀU CAO DẦM BTCT DỰ ỨNG LỰC LIÊN TỤC 3 NHỊP PHỤC VỤ CHO CẦU VƯỢT NÚT GIAO THÔNG TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Lê Văn Nam, Nguyễn Trọng Bình
Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
(Bài nhận ngày 09 tháng 3 năm 2005)

TÓM TẮT: Nội dung bài báo trình bày phương pháp xác định chiều cao tối ưu dầm hộp BTCT dự ứng lực hệ liên tục 3 nhịp ứng dụng cho cầu vượt nút giao thông trong thành phố Hồ Chí Minh.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay vấn đề ách tắc giao thông trong các thành phố lớn ở Việt Nam nói chung và tại Thành phố Hồ Chí Minh nói riêng là một vấn nạn của xã hội. Hầu hết các nút giao thông chính và các điểm giao cắt trên các tuyến đường chính ở thành phố Hồ Chí Minh đều là ngang mức. Vì vậy, tại các vị trí này thường xuyên xảy ra ùn tắc giao thông. Hiệu quả nhất để giải quyết ùn tắc giao thông tại các điểm cắt và nút giao thông là xây dựng cầu vượt để tạo nút giao thông khác mức.

Một trong những yêu cầu quan trọng xây dựng cầu vượt trong đô thị là phải giảm tối đa chiều cao kiến trúc công trình để đảm bảo mỹ quan trong thành phố, giảm thiểu phạm vi giải phóng mặt bằng công trình, giảm tối đa đất đắp hai đầu cầu. Trên cơ sở đó giảm được sự ảnh hưởng đến cuộc sống của nhân dân khu vực dự án, giảm được khối lượng đền bù giải tỏa, nâng cao hiệu quả kinh tế của dự án. Để giải quyết được các yêu cầu trên, đòi hỏi chiều cao dầm phải nhỏ nhất.

2. GIỚI THIỆU VỀ KỸ THUẬT TỐI ƯU HÓA

2.1 Giới thiệu chung về các kỹ thuật tối ưu hoá

Kỹ thuật tối ưu hoá thường dùng 2 phương pháp: *phương pháp tiêu chuẩn tối ưu* (O.C Method) và *phương pháp quy hoạch toán học* (M.P Method).

Phương pháp tiêu chuẩn tối ưu được xem là phương pháp gián tiếp trong thiết kế tối ưu [6]. Mặc dù là phương pháp gián tiếp, phương pháp tiêu chuẩn tối ưu cũng có cùng hàm mục tiêu như phương pháp trực tiếp, chỉ khác nhau ở bước thiết kế lặp. Phương pháp gián tiếp đề cập đến tiêu chuẩn về sự ứng xử của kết cấu và giả thuyết rằng khi tiêu chuẩn này được đáp ứng thì điều kiện tối ưu được thoả mãn.

Phương pháp tiêu chuẩn tối ưu thuận tiện trong tính toán do tính đơn giản của nó, tuy nhiên phương pháp này có thể phụ thuộc vào sự ứng xử riêng biệt của kết cấu và tính hội tụ để đạt tối ưu đôi khi không chắc chắn. Nhìn chung, phương pháp tiêu chuẩn tối ưu không phổ biến do tính hạn chế về phạm vi ứng dụng và các ràng buộc về ứng xử.

Phương pháp quy hoạch toán học, hàm mục tiêu được tối thiểu hoá trực tiếp sau một số quá trình. Phương pháp này nhìn chung xem xét tổng quát các ràng buộc và các hàm mục tiêu khác nhau. Các phương pháp quy hoạch toán học nhằm mục đích giải bài toán tổng quát bằng các thuật toán đi tìm hướng bằng phương pháp số. Phương pháp này có thể áp dụng được cho trường hợp kết cấu phức tạp chịu các dạng phá hủy khác nhau tương ứng với nhiều dạng tải trọng khác nhau. Phương pháp này có xét đến một số lớn các ràng buộc về ứng xử của kết cấu như ứng suất, chuyển vị, độ võng, bài toán động cũng như các giới hạn về biến thiết kế [1].

Trong bài viết này sẽ trình bày ứng dụng *phương pháp quy hoạch toán học* để thiết lập bài toán tính tối ưu chiều cao dầm cầu BTCT dự ứng lực.

2.2 Phương pháp tính tối ưu theo bài toán quy hoạch phi tuyến

Ở đây trình bày phương pháp tìm tối ưu của bài toán quy hoạch toán học phi tuyến có các ràng buộc về ứng suất.

Để chuyển bài toán quy hoạch phi tuyến có ràng buộc về bài toán không có ràng buộc dùng phương pháp hàm phạt (Penalty Function Method). Việc đi tìm lời giải tối ưu lúc này được thực hiện trên một hàm mục tiêu mới (hay gọi là hàm giả mục tiêu – Pseudo Objective Function) thông qua tham số phạt và tiêu chuẩn hội tụ.

Có thể tóm lược các bước thực hiện trong việc giải bài toán quy hoạch phi tuyến bằng phương pháp hàm phạt nội như sau:

- Xây dựng hàm giả mục tiêu [1]:

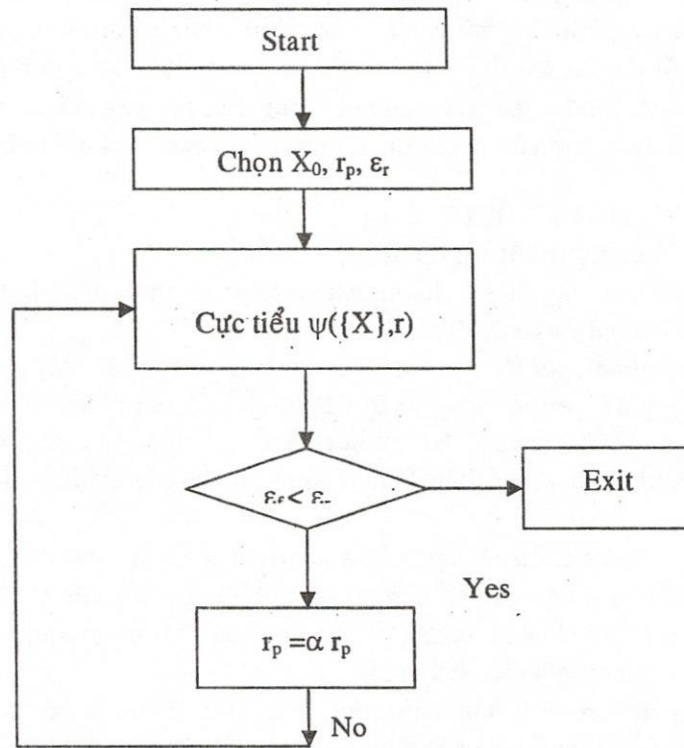
$$\Psi(\{X\}, r) = F - r \sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j}, \text{ trong đó: } F: \text{ hàm mục tiêu}$$

g_j : các hàm ràng buộc

- Chọn trước giá trị biến thiết kế $\{X\}$, tham số phạt r_p , thông số đánh giá chỉ tiêu hội tụ ϵ_r . Biến thiết kế $\{X\}$ phải chọn sao cho $\{X\}$ thuộc miền thiết kế khả thi trong không gian thiết kế, hay nói khác hơn, tất cả các ràng buộc đều phải thỏa.
- Cực tiểu hoá hàm giả mục tiêu $\Psi(\{X\}, r)$ để tìm giá trị cực tiểu $\{X^*\}$.
- Đánh giá sự hội tụ: tính $\epsilon_f = \frac{F_{\min}(r_{i-1}) - F_{\min}(r_i)}{F_{\min}(r_i)}$.

Nếu $\epsilon_f > \epsilon_r$ thì thực hiện giảm tham số phạt r_p rồi thực hiện lại bước cực tiểu hàm $\Psi(\{X\}, r)$ mới cho đến khi nào đạt được lời giải tối ưu đúng với mức yêu cầu sự hội tụ của người phân tích.

Dưới đây là lưu đồ giải thuật [6] cho phương pháp tính toán tối ưu này:



2.3 Giải thuật tìm lời giải tối ưu không có ràng buộc

Để tìm lời giải tối ưu có rất nhiều phương pháp:

- Phương pháp cực tiểu hoá 1.hàm dọc theo 1 đường.
- Phương pháp tìm trực tiếp.
- Phương pháp Gradient.
- Phương pháp Newton và giả Newton.

Ở đây giới thiệu thuật toán giải bài toán tối ưu không ràng buộc theo phương pháp tìm trực tiếp – Phương pháp POWELL sẽ sử dụng để giải bài toán tối ưu. Sơ đồ khối của giải thuật tham khảo trong [1].

3. THIẾT LẬP BÀI TOÁN TỐI ƯU HOÁ CHIỀU CAO DẦM CẦU

3.1 Các yêu cầu tính toán tối ưu

Thiết lập bài toán tối ưu hoá theo phương pháp quy hoạch toán học. Các bước thực hiện chính như sau :

- Xác định điều kiện ràng buộc về ứng suất:
- + Xác định các ràng buộc về ứng suất của các thớ trên và thớ dưới của tiết diện trên nguyên tắc [4] [5] [7]:
 - ◆ Ứng suất nén: nhỏ hơn cường độ chịu nén khi uốn của vật liệu bê tông;
 - ◆ Ứng suất kéo: không cho phép xuất hiện ứng suất kéo tại các thớ chịu kéo của dầm cầu.
- + Các điều kiện ràng buộc về ứng suất sẽ được xác định tương ứng với từng giai đoạn làm việc của dầm [2] [3]:
 - ◆ Ngay sau khi căng cáp dự ứng lực;
 - ◆ Khi thi công các loại tĩnh tải giai đoạn 2;
 - ◆ Khi có hoạt tải tác dụng.
- Xác định biến thiết kế: gồm 2 yếu tố như sau:
 - ◆ Chiều cao dầm h ;
 - ◆ Số lượng bó cáp dự ứng lực thớ trên (n_t) và thớ dưới (n_d).

Trong đó, chiều cao dầm là yếu tố quyết định đến mỹ quan chiều cao kiến trúc công trình cầu vượt trong đô thị. Do đó, đây là biến thiết kế cần được ưu tiên xem xét tối ưu hoá. Trong khi đó, số lượng cáp có thể tăng đến mức tối đa cho phép đối với tiết diện BTCT ứng suất trước. Việc tăng số lượng cáp có thể gặp khó khăn do diện bố trí cáp dự ứng lực trên mặt cắt ngang chỉ là có hạn. Tuy nhiên, trong trường hợp này có thể xem xét tăng số lượng cáp trong 1 bó – từ 12 sợi/bó cáp đến 19 sợi hay 27 sợi (là các mô đun cáp thường được sử dụng). Do đó, vấn đề chính của bài toán tối ưu là xem xét trong miền khả thi các điểm xuất phát của bài toán để giảm tối đa chiều cao dầm.

Ngoài ra, cũng có thể thiết lập bài toán tối ưu theo tiêu chí giá thành công trình, gồm chi phí cho bê tông và cáp dự ứng lực: nếu chiều cao dầm càng lớn thì số bó cáp dự ứng lực càng nhỏ và ngược lại, chiều cao dầm càng thấp thì phải tăng cáp. Tuy nhiên, có thể thấy thực tế hiện nay, chi phí cho cáp dự ứng lực chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong kết cấu giá thành, trong khi đó, chiều cao dầm càng giảm càng rút ngắn chiều dài đường đầu cầu, chiều cao đất đắp và quan trọng hơn là yếu tố mỹ quan đô thị, phạm vi chiếm dụng công trình, phạm vi giải toả.

Với các yếu tố giá thành, mỹ quan nêu trên, bài toán tối ưu sẽ được thiết lập theo hướng giảm chiều cao dầm và tăng cáp dự ứng lực.

- Chọn hàm mục tiêu: sử dụng một trong các phương pháp biến đổi để đưa bài toán có các ràng buộc về bài toán không ràng buộc như:
 - ◆ Phương pháp hàm rào cản và hàm phạt;
 - ◆ Phương pháp hàm Lagrange gia tăng.

Trong phần này sẽ áp dụng hàm phạt nội để thiết lập bài toán tối ưu.

3.2 Thiết lập bài toán tối ưu

Xác định chiều cao dầm h và số bó cáp dự ứng lực sao cho diện tích mặt cắt ngang là nhỏ nhất:

$$F(h, n_{cab+}) = F \rightarrow \min$$

Với các ràng buộc:

$$\sigma_{\max} - [\sigma]_n \leq 0$$

$$\sigma_{\min} \geq 0$$

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$$

$$0 < n < n_{\max}$$

Trong đó:

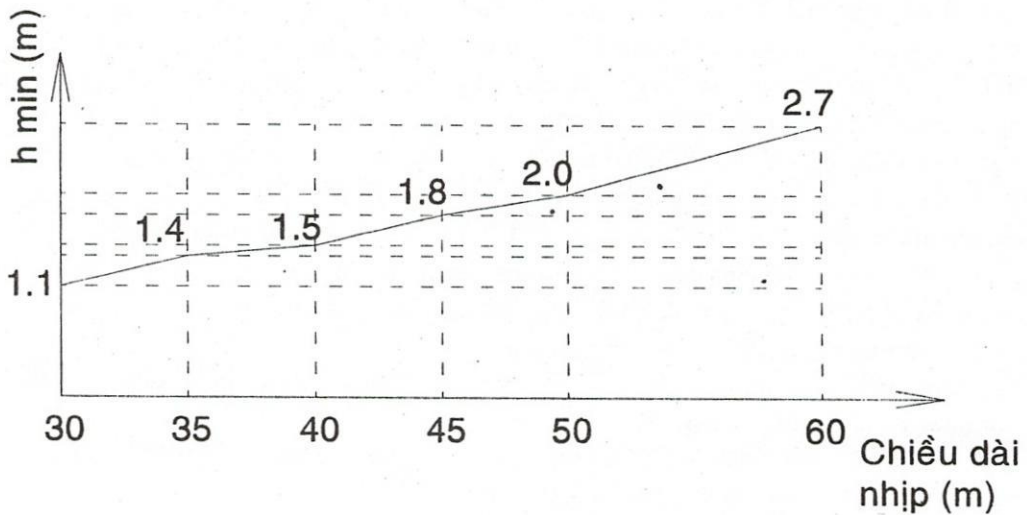
- F : Tiết diện mặt cắt ngang dầm;
- h : Chiều cao dầm;
- n_{cab} : Số bó cáp của từng tiết diện

- $[\sigma]_n$: Ứng suất nén giới hạn;
- n_{max} : Số lượng cáp tối đa tại từng tiết diện.

Từ hàm mục tiêu và các ràng buộc nêu trên, sử dụng thuật toán tối ưu theo phương pháp POWELL để tính toán.

Để giải bài toán tối ưu hoá chiều cao dầm, vấn đề ở đây là xác lập các hàm ràng buộc về ứng suất, chuyển vị, cường độ... giữa các thông số đầu vào như sơ đồ nhịp, khổ cầu, đặc trưng hình học tiết diện, đặc trưng vật liệu (bê tông, cốt thép, cáp dự ứng lực...), tải trọng (tĩnh tải và hoạt tải...) ... trong mối quan hệ với chiều cao dầm. Sau đó ứng dụng kỹ thuật tối ưu hoá để xác định miền khả thi chứa điểm tối ưu và xác định được chiều cao tối ưu. Kết quả tính toán cho một số sơ đồ nhịp liên tục cầu BTCT dự ứng lực được trình bày trong bảng và đồ thị dưới đây.

STT	Sơ đồ nhịp (m)	Chiều cao tối ưu (m)
1	22+30+22	1.1
2	26+35+26	1.4
3	30+40+30	1.5
4	34+45+34	1.8
5	38+50+38	2.0
6	45+60+45	2.7



Hình 1: Tương quan giữa chiều dài nhịp và chiều cao tối ưu của dầm

Việc xác định các hàm ràng buộc sẽ được thực hiện thông qua các phân tích kết cấu, tìm mối liên hệ giữa các ràng buộc theo các hàm số của chiều cao dầm, số lượng bó cáp dự ứng lực.

4. KẾT LUẬN

Việc ứng dụng kỹ thuật tối ưu trong tính toán chiều cao dầm mở ra hướng tiếp cận mới trong tự động hoá tính toán thiết kế, đặc biệt là các loại dầm BTCT liên tục nhịp vừa ($l_{max} < 60$ m), giúp rút ngắn thời gian thiết kế công trình, có thể ứng dụng đồ thị để xác định ngay chiều cao tối ưu, về kinh tế do việc giảm chiều cao dầm, sẽ làm giảm kinh phí đầu tư cho công tác xây dựng cầu. Tuy nhiên, ý nghĩa thực tiễn của việc giảm chiều cao dầm trong công tác cải tạo chỉnh trang, xây dựng hệ thống cầu vượt nút giao thông tại TP. HCM khi chiều cao kiến trúc bị hạn chế là vấn đề thiết thực nhất.

Về mặt xã hội việc giảm chiều cao dầm sẽ giúp rút ngắn chiều dài cầu, qua đó giảm thiểu khối lượng đền bù giải phóng mặt bằng, phạm vi chiếm dụng công trình. Ngoài việc tiết kiệm kinh phí đầu tư, giảm thiểu tổng hao phí vật chất xã hội thì ý nghĩa quan trọng hơn là giảm thiểu ảnh hưởng đến dân

sinh xã hội, đến đời sống của nhân dân khu vực bị ảnh hưởng của dự án. Đây là một trong những yếu tố quan trọng quyết định sự thành công của dự án.

THE OPTIMUM HEIGHT OF THE PRESTRESSED CONCRETE BOX GIRDER WHICH HAS THREE CONTINUOUS SPANS FOR THE BRIDGE PASSING THE NODE OF TRAFFIC IN HO CHI MINH CITY

Le Van Nam, Nguyen Trong Binh
University of Technology, VNU - HCM

ABSTRACT: *This paper presents the method to determine the optimum height of the prestressed concrete box girder which has three continuous spans for the bridge passing the node of traffic in Ho Chi Minh City.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Garret N.Vanderplaats, *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Application*, Mc Graw – Hill Book Company (1984).
- [2]. PGS.TS. Nguyễn Việt Trung, TS. Hoàng Hà, KS. Nguyễn Ngọc Long, *Cầu BTCT*, NXB Giao Thông Vận Tải (2000).
- [3]. Lê Thọ Trình, *Cơ học kết cấu*, NXB Khoa Học Kỹ Thuật (2002).
- [4]. *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (1998).
- [5]. *Tiêu chuẩn Thiết kế Cầu 22TCN-272-01*, Bộ Giao Thông Vận Tải.
- [6]. Uri Kirsch, *Optimum Structural Design Concepts, Methods, and Application*, Mc Graw – Hill Book Company (1981).
- [7]. Edward G.Nawy, *Prestressed Concrete*, Second Edition (1996).