

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH LỰC ÉP LÊN BỀ MẶT CẤU KIỆN BÊ TÔNG TRONG QUÁ TRÌNH ĐÚC BẰNG CÔNG NGHỆ VÀ RUNG TRONG

PGS.TS Trần Văn Tuấn
Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Công trình “Nghiên cứu phương pháp xác định lực ép lên bề mặt cấu kiện bê tông trong quá trình đúc bằng công nghệ và rung trong” đã trình bày cơ sở khoa học tính toán giá trị lực ép không quán tính và gia tải quán tính hiệu quả, tác động trên bề mặt bê tông đảm bảo điều kiện va chạm trong giữa bê tông và đế khuôn của công nghệ và rung. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở khoa học để ứng dụng có hiệu quả công nghệ và rung nói chung và phát triển công nghệ và rung trong nói riêng vào thực tế sản xuất các cấu kiện bê tông.

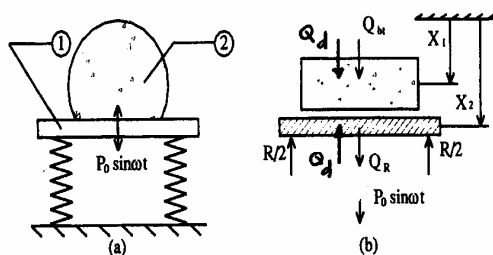
Summary: The research project named “On the determination method of surface pressing force on the prefabricated concreting process by internal impact-vibration technology” presents scientific basis of calculating the value of effective non-inertia and inertia force, pressing on the face of mixing concrete for the impact phenomenon between mixing concrete and sole of form. The research result is the basis for effective application of the impact-vibration technology in general and the development of the internal impact-vibration technology in production in particular.

Việc ép bề mặt cấu kiện là cần thiết do yêu cầu chất lượng sản phẩm mặt khác còn do việc tạo nhẵn mặt thương phẩm vĩnh cửu trên bề mặt cấu kiện.

Việc ép bằng gia tải cưỡng không quán tính thường được áp dụng trong công nghệ sản xuất các cấu kiện bê tông có kích thước nhỏ, yêu cầu mác cao như các loại gạch lát. Trong công trình này tác giả muốn trình bày cơ sở khoa học xác định lực ép không quán tính và gia tải quán tính hợp lý bằng điều kiện đảm bảo va chạm giữa khối hỗn hợp bê tông với đế khuôn nằm trên bàn rung thường tuyến tính - và rung trong

1. BÀI TOÁN XÁC ĐỊNH GIÁ TRỊ GIA TẢI BỀ MẶT KHI ĐÚC CẤU KIỆN BÊ TÔNG BẰNG CÔNG NGHỆ VÀ RUNG TRÊN BÀN RUNG TUYẾN TÍNH

a. Nghiên cứu mối tương tác giữa máy và hỗn hợp bê tông



Hình 1. Mô hình và sơ đồ lực tương tác giữa khối hỗn hợp bê tông và bàn rung.

a - Máy và bê tông;

b - Sơ đồ tương tác lực

Công nghệ va rung đúc cấu kiện bê tông được áp dụng không chỉ trên máy va rung ngoài mà còn đúc ngay trên bàn rung thường tuyến tính nhờ hiệu ứng va chạm giữa khối hỗn hợp bê tông với đế khuôn nằm trên bàn rung.

Giả sử có một khối hỗn hợp bê tông (2) nằm tự do trên bàn rung (1), ngoài lực dìm Q_d giữa bê tông và khuôn không còn lực nào khác. Ảnh hưởng dao động của bàn rung đến phản lực lò xo nhỏ và có thể bỏ qua. Khi bê tông dao động tách khỏi bàn rung, thì phản lực của lò xo được tính như sau:

$$R = Q_{bt} + Q_d \quad (1)$$

Trong đó Q_{bt} - trọng lượng khối bê tông. Theo nguyên lý Đalămbe cho phép ta lập được phương trình vi phân chuyển động sau:

$$\begin{cases} m_{bt} \ddot{X}_1 = Q_{bt} + Q_d \\ m_R \ddot{X}_2 = Q_R + P_0 \sin \omega t - (Q_{bt} + Q_d) - Q_d \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: $P_0 \sin \omega t$ - lực kích rung; m_{bt} , m_R - khối lượng bê tông và khối lượng phần máy tham gia rung. Q_R - trọng lượng phần rung gồm bàn rung và cơ cấu gây rung gắn với bàn rung.

Nhân cả hai phương trình với m_R , m_{bt} tương ứng rồi trừ cho nhau ta được:

$$\begin{aligned} m_{bt} m_R (\ddot{X}_2 - \ddot{X}_1) &= m_{bt} P_0 \sin \omega t - m_{bt} Q_{bt} - \\ &- m_{bt} Q_d - m_R Q_{bt} - m_R Q_d - m_{bt} Q_R - m_{bt} Q_d \end{aligned} \quad (3)$$

Đặt $\ddot{X}_2 - \ddot{X}_1 = \ddot{X}$, ở đây X là chuyển động tương đối giữa bàn rung và bê tông, khi tồn tại giá trị này, $|X| \neq 0$ thì xảy ra va chạm giữa bê tông và đế khuôn, đế khuôn được gắn chặt trên bàn rung. Chia hai vế của (3) cho m_R ta được:

$$m_{bt} \ddot{X} = \frac{m_{bt}}{m_R} (P_0 \sin \omega t - Q_{bt} - Q_R - 2Q_d) - Q_{bt} - Q_d \quad (4)$$

Trong đó $\frac{Q_{bt}}{m_{bt}} = g$; ω - tốc độ góc của quả lắc; t - thời gian.

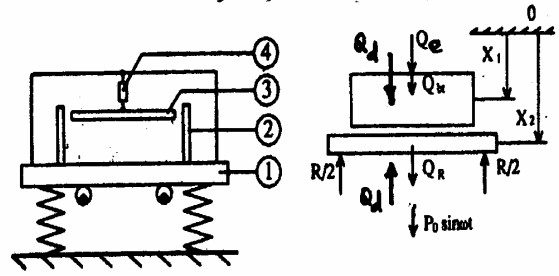
Theo Savinov [4], với máy rung tuyến tính và ảnh hưởng dao động của bàn rung đến phản lực lò xo nhỏ thì điều kiện tách khối bê tông khỏi bàn rung khi chiều cao khối bê tông $H = (0.2-0.4)$ m là:

$$\frac{P_0}{Q_R + Q_{bt}} = 3 \div 7; \quad \frac{Q_d}{Q_{bt}} = 0,3 \div 1 \quad (5)$$

b. Xét mô hình rung tuyến tính có lực ép không quán tính

Phản lực của lò xo:

$$R = Q_{bt} + Q_d + Q_e$$



Hình 2. Sơ đồ máy rung ép và sơ đồ lực

1. Bàn rung. 2. Khuôn. 3. Tấm ép.
4. Xi lanh khí nén hoặc thủy lực.

Chú ý nếu lò xo chịu nén ban đầu thì trên sơ đồ phải có lực nén lò xo nữa. Phương trình chuyển động của hệ được viết như sau:

$$\begin{aligned} m_{bt}\ddot{X}_1 &= Q_e + Q_{bt} + Q_d \\ m_R\ddot{X}_2 &= -R + Q_R + P_0 \sin \omega t - Q_d \end{aligned} \quad (6)$$

Trong đó: $Q_{bt} = m_{bt}g$; $Q_R = m_Rg$; Q_e - lực ép của hệ thống khí nén hoặc thuỷ lực. Nhân hai phương trình với m_R , m_b rồi trừ cho nhau ta được:

$$m_{bt}m_R(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) = -m_{bt}(-R + Q_R + P_0 \sin \omega t - Q_e - Q_d) + m_R(Q_e + Q_{bt} + Q_d) \quad (7)$$

Gọi X là chuyển động tương đối, khi đó ta có: $\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2 = \ddot{X}$ và thay $R = Q_{bt} + Q_d$ từ (7) ta được phương trình sau:

$$m_{bt}\ddot{X} = Q_e + Q_{bt} + Q_d - \frac{m_{bt}}{m_R}(-Q_{bt} + P_0 \sin \omega t - Q_e + Q_R - 2Q_d) \quad (8)$$

Đặt $\tau = \omega t$; $Y = m_R \frac{\omega^2}{P_0} X$, lấy đạo hàm hai vế ta được:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= \frac{dX}{d\tau} \frac{d\tau}{dt} = \dot{X}(\tau)\omega; \ddot{X}(t) = \ddot{X}(\tau)\omega^2; \dot{Y}(\tau) = \frac{m_R\omega^2}{P_0} \dot{X}(\tau) = \frac{m_R\omega^2}{P_0} \frac{\dot{X}(t)}{\omega} = \frac{m_R\omega}{P_0} \dot{X}(t) \\ \ddot{X}(t) &= \dot{Y}(\tau) \frac{P_0}{m_R\omega}; \ddot{Y}(\tau) = \frac{m_R\omega^2}{P_0} \ddot{X}(\tau) = \frac{m_R\omega^2}{P_0} \frac{\ddot{X}(t)}{\omega^2} = \frac{m_R}{P_0} \ddot{X}(t) \end{aligned}$$

Hay: $\ddot{X}(t) = \ddot{Y}(\tau) \frac{P_0}{m_R} \quad (9)$

Thay (9) vào (8) và biến đổi ta được:

$$\ddot{Y}(\tau) \frac{P_0}{m_R} m_{bt} = Q_e + Q_{bt} + Q_d - \frac{m_{bt}}{m_R}(-Q_{bt} - Q_e - 2Q_d + Q_R + P_0 \sin \tau) \quad (10)$$

Để dễ thấy trong khảo sát ban đầu, giả thiết:

$$Q_{bt} = Q_d = Q_R \quad (11)$$

Từ (10) ta có:

$$\ddot{Y}(\tau) = \frac{(Q_e + 2Q_{bt})(m_R + m_{bt})}{m_{bt}P_0} - \sin \tau$$

Đặt $Z = m_{bt} \frac{P_0}{(m_{bt} + m_R)(Q_e + 2Q_{bt})} \quad (12)$

Ta sẽ có được biểu thức dưới đây:

$$\ddot{Y}(\tau) = \frac{1}{Z} - \sin(\omega t + \varphi) = \frac{1}{Z} - \sin(\tau + \varphi) \quad (13)$$

Ta thêm φ vào (13) để có thể chọn gốc thời gian luôn là thời điểm *bắt đầu tách* bê tông khỏi đế khuôn. Theo lý thuyết va chạm đúng tâm, khi hai vật m_1 - khối bê tông và m_2 - khuôn và bàn rung thì tổn hao năng lượng sẽ là:

$$\Delta T = \frac{1}{2} (1 - R_1^2) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2)^2 \quad (14)$$

Ở đây: $m_1 = m_{bt}$; $m_2 = m_R$; $V_1 = \dot{X}_1$; $V_2 = \dot{X}_2$;

R_1 - hệ số phục hồi vận tốc ($R_1 = 0 \div 1$).

Toàn bộ khối lượng bê tông sẽ tham gia dao động va chạm, khi mà chiều dày lớp bê tông $H < 0,2m$. Khi cột bê tông cao hơn thì điều kiện này không còn đúng nữa. Viết lại (14) ta có:

$$\Delta T = \frac{1}{2} (1 - R_1^2) \frac{m_{bt} m_R}{m_{bt} + m_R} (\dot{X}_1 - \dot{X}_2)^2 \quad (15)$$

Qua thực nghiệm thấy rằng sau mỗi lần va chạm bê tông không tự nhẩy, có nghĩa $R_1 = 0$. Đặt $\dot{X}_1 - \dot{X}_2 = \dot{X}$; $\dot{Y}(0)$ - vận tốc tương đối tại thời điểm bắt đầu xảy ra va chạm. Tìm $\dot{Y}(0)$ nhờ công thức (13), ta có:

$$\dot{Y}(0) = \int_0^{\tau_1} \ddot{Y} d\tau = \int_0^{\tau_1} \left[\frac{1}{Z} - \sin(\tau + \varphi) \right] d\tau \quad \text{Với } 0 < \tau_1 \leq 2\pi :$$

$$\dot{Y} = \frac{\tau}{Z} \Big|_0^{\tau_1} + \cos(\tau + \varphi) \Big|_0^{\tau_1} = \frac{\tau_1}{Z} + \cos(\tau_1 + \varphi) - \cos \varphi$$

Giả thiết một chu kỳ rung chỉ có một lần va chạm và thời gian va chạm nhanh, có nghĩa $\tau_1 \leq 2\pi$. Vậy ta có:

$$\dot{Y}(0) = \frac{2\pi}{Z} + \cos \varphi - \cos \varphi = \frac{2\pi}{Z} \quad (16)$$

Theo [5] một chu kỳ chỉ có một lần va chạm thì:

$$1 < Z \leq 3,7 \quad (17)$$

$Z < 1$ không có va chạm; $Z > 3,7$ hệ mất ổn định.

Lực ép nhỏ nhất rõ ràng là khi $Z = 3,7$ vì theo công thức (12) Q_e giảm thì Z tăng.

Xét trường hợp $Z = 1$:

$$Z = \frac{m_{bt}}{(m_{bt} + m_R)} \frac{P_0}{(2Q_{bt} + Q_e)} = 1; \quad (2Q_{bt} + Q_e)(Q_{bt} + Q_R) = P_0 Q_{bt}$$

$$Q_e(Q_{bt} + Q_R) + 2Q_{bt}(Q_{bt} + Q_R) = P_0 Q_{bt}; \quad Q_e = \frac{P_0 Q_{bt}}{(Q_{bt} + Q_R)} - \frac{2Q_{bt}(Q_{bt} + Q_R)}{(Q_{bt} + Q_R)}$$

Ta có:

$$Q_e^{\max} = \frac{P_0 Q_{bt}}{(Q_{bt} + Q_R)} - 2Q_{bt} \quad (18)$$

Trong đó $Q_e^{\max}$ - lực ép lớn nhất đảm bảo có va chạm. Tương tự, lực ép nhỏ nhất để có va chạm là $Q_e^{\min} = \frac{P_0 Q_{bt}}{3,7(Q_{bt} + Q_R)} - 2Q_{bt}$. Từ (15) ta có:

$$\Delta T = \frac{1}{2} (1 - 0) \frac{m_{bt} m_R}{m_{bt} + m_R} \dot{X}^2(t) = \frac{1}{2} \frac{m_{bt} m_R}{m_{bt} + m_R} \left(\frac{P_0}{m_R \omega} \dot{Y}(0) \right)^2$$

Với $P_0 = k\omega^2$; $k = m_0r$ - mômen quán tính tĩnh, ở đây m_0 , r - khối lượng và bán kính lệch tâm.

$$\Delta T = \frac{1}{2} \dot{Y}_{(0)}^2 \frac{m_{bt} m_R}{m_{bt} + m_R} \frac{k^2 \omega^4}{m_R^2 \omega^2} = \frac{1}{2} \dot{Y}_{(0)}^2 \frac{m_{bt}}{(m_{bt} + m_R) m_R} k^2 \omega^2 \quad (19)$$

Công suất tiêu hao trong một chu kỳ trên một đơn vị khối lượng bê tông (công riêng) được tính như sau:

$$\bar{N} = \frac{\Delta T}{m_{bt} \frac{2\pi}{\omega}} = \frac{1}{2} \frac{\omega}{2\pi} \dot{Y}_{(0)}^2 \frac{k^2 \omega^2}{m_R (m_R + m_{bt})} \frac{m_{bt}}{m_{bt}} = \frac{1}{4\pi} \dot{Y}_{(0)}^2 \frac{k^2 \omega^3}{m_R (m_R + m_{bt})} \quad (20)$$

Muốn bê tông nhận được nhiều năng lượng để làm chặt thì $\dot{Y}(0)$ là tốc độ va chạm tương đối càng lớn càng tốt. Thật vậy, từ (16) ta có $\dot{Y}(0) = \frac{2\pi}{Z}$.

Rõ ràng khi $Z=1$ là lợi nhất, khi đó $\dot{Y}_{(0)} = \dot{Y}(\tau_1) = 2\pi = 6,28$

Ở trên ta xét cho trường hợp rung thường có *va chạm trong*, có nghĩa va chạm giữa bê tông và đế khuôn. Tác giả / 5 / đã chứng minh được rằng năng lượng truyền từ bàn rung cho hỗn hợp bê tông để tạo hình và làm chặt nhờ công nghệ va rung có va chạm trong lớn gấp 8 lần so với công nghệ rung thường.

2. ĐỀ XUẤT CÁCH XÁC ĐỊNH LỰC ÉP LÊN BỀ MẶT HỖN HỢP BÊ TÔNG

Quá trình đúc cấu kiện bê tông được phân ra làm 3 giai đoạn: Giai đoạn thứ nhất - lực ép cần nhỏ nhất để cốt liệu dễ dịch chuyển lấp các lỗ trống; giai đoạn thứ hai - cần lực ép vừa đảm bảo có hiệu ứng va rung vừa đủ lớn để ép cốt liệu, theo /5/ về cơ bản quá trình đúc đã xong; tuy nhiên để cấu kiện có mặt ngoài nhẵn cần giai đoạn ba, lực ép tăng 2,5 lần.

Từ công thức (18) trên, ta có:
$$\begin{cases} Q_e^{\max} = \frac{P_0}{2} - 2Q_{bt} \\ Q_{bt} = Q_R \end{cases}$$
, trong đó $P_0 = m_0 r \omega^2$ có nghĩa lực ép

hợp lý nhất cho cuối giai đoạn đúc thứ hai được tính chọn phụ thuộc vào lực gây rung.

Ví dụ: Cho $Q_{bt} = 24000N$; $m_0 r = 3kg.m$, Khảo sát giá trị Q_e .

Từ công thức $Q_e^{\max} = \frac{P_0}{2} - 2Q_{bt}$ ta suy ra $\omega = \sqrt{\frac{2(Q_e + 2Q_{bt})}{m_0 r}}$. Rõ ràng là lực ép tỷ lệ thuận

với tần số rung, tuy vậy khi lực ép triệt tiêu $Q_e = 0$ vẫn tạo ra va chạm giữa khối bê tông và đế khuôn, thật vậy khi đó tần số rung của ví dụ cụ thể trên phải là

$\omega = \sqrt{\frac{2(Q_e + 2Q_{bt})}{m_0 r}} = 2\sqrt{\frac{24000}{3}} \approx 179rad/s$. Từ công thức (18) dễ dàng thấy rằng khi tần số dao

động thấp sẽ tạo ra $Q_e < 0$ tạo khả năng cho tấm gia tải tách khỏi bề mặt bê tông, dao động va chạm.

a. Trường hợp lực ép được tạo ra nhờ ép cưỡng bức (gia tải không quán tính) do truyền động thủy khí

Lực ép được tính chọn theo công thức (18) cho chế độ rung cộng hưởng, có nghĩa là $P_o = m_0 r \omega_{ch}^2$. Tính chọn chế độ cộng hưởng theo tài liệu [1] cho cơ hệ rung một bậc tự do có cản; khối lượng bê tông tham gia cùng bàn rung chiếm khoảng từ 25 % đến 100% toàn bộ khối lượng hỗn hợp bê tông, tùy theo chiều cao cấu kiện. Lực ép này đạt giá trị lớn nhất ở cuối giai đoạn hai, bởi vậy quá trình ép phải từ từ, đảm bảo mặt ép không tách khỏi bê tông do hiện tượng giảm thể tích khi rung. Khi tăng lực ép lên 2,5 lần, lực này là lực tĩnh, đối với cơ hệ nó là nội lực cho nên chế độ rung sẽ không bị thay đổi, tránh hiện tượng làm tơi cấu kiện ở cuối quá trình đúc.

b. Trường hợp lực ép là gia tải quán tính

Gia tải quán tính thường là các tấm thép có trọng lượng tính theo công thức (18), tính cho chế độ rung cộng hưởng ở cuối giai đoạn hai và nó thường được đặt tự do trên bề mặt cấu kiện. Trong tính toán, ở giai đoạn hai cần giả thiết tấm gia tải làm việc không tách khỏi bề mặt bê tông. Chế độ không tách này phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong sản xuất thường được kiểm tra đối với từng loại hỗn hợp bê tông.

Lực ép có thể thay đổi giá trị trong giai đoạn thứ ba nhờ thay đổi tần số rung. Thay đổi tần số rung làm xuất hiện hiện tượng va chạm giữa tấm gia tải và bề mặt cấu kiện, điều kiện cần theo công thức (18) là $Q_e < 0$ và $|Q_e| > Q_{gt}$, trong đó Q_{gt} là trọng lượng của tấm gia tải quán tính, kết quả làm tăng đáng kể lực ép bề mặt do gia tốc tăng đột ngột (đó là bản chất của hiện tượng va rung). Tuy nhiên, biên độ dao động của cả cơ hệ sẽ giảm do hệ làm việc ngoài vùng cộng hưởng, thậm chí chế độ “*va rung trong*” bị biến mất trong giai đoạn ba cũng không làm giảm chất lượng đúc.

Tài liệu tham khảo

1. *Trần Văn Tuấn*. Cơ sở kỹ thuật rung trong xây dựng và sản xuất vật liệu xây dựng, 378 trang. Nxb Xây dựng - 1/2005.
2. *Trần Văn Tuấn*. Nghiên cứu mô hình tương tác giữa máy và bê tông trong quá trình đúc cấu kiện trên bàn rung (Studying the interplay model between vibrating machine and mixing concrete in the process of casting construction concrete component by the plating vibrator). Tạp chí KHCN, số 6, trang 69-76, Tập 42/2005.
3. *PGS.TS Trần Văn Tuấn, NCS. Lưu Đức Thạch, ThS. Nguyễn Ngọc Thắng*. Nghiên cứu công nghệ và thiết bị mới sản xuất các loại cống bê tông thoát nước cho đô thị Việt Nam; Đề tài KHCN cấp Bộ, mã số: B2006-03-06.
4. *Савинов О. А.* Теория и методы вибрационного формования железобетонных изделий. Л - 1972.
5. *Савинов О.А. Лавринович Е. В.* Вибрационная техника уплотнения и формования бетонных смесей. Л - 1987.