

Đề xuất đồ thị mới tra tỉ số nhịp chia chiều dày sàn theo tải trọng tiêu chuẩn trong thiết kế sàn thép

Proposing a new graph to find the span divide divided by thickness by the standard load in steel floor design

Nguyễn Thanh Tùng

Tóm tắt

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết việc thiết lập công thức để xây dựng đồ thị mới tra tỉ số nhịp sàn chia chiều dày sàn theo tải trọng tiêu chuẩn cho bài toán thiết kế sàn thép và khảo sát sai số đồ thị mới và cũ trong trường hợp khác nhau nhằm khuyến cáo phạm vi áp dụng của trong thực hành.

Từ khóa: Thiết kế sàn thép, nhịp sàn, chiều dày sàn

Abstract

In this paper, we presented the theoretical foundation of finding a formula for building a new graph of span divided by thickness by the standard load in selecting span length and thickness of steel deck designing problem. We also investigated the error in the new graph and old graph in different cases to point out the warning in the application of this new graph in designing practice.

Key words: Steel deck design, deck span, deck thickness

ThS. Nguyễn Thanh Tùng

Bộ môn kết cấu Thép - GỖ

Khoa Xây dựng

ĐT: 0912634901

Email: nguyenthantungb@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/5/2020

Ngày sửa bài: 29/5/2020

Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

1. Giới thiệu

Sàn thép là một trong các cấu kiện cơ bản thường gặp trong kết cấu thép. Trong tính toán sàn thép, thường coi sàn thép làm việc theo 1 phương, do đó có thể cắt 1 dải bản ra để tính với sơ đồ như một dầm có liên kết khớp hai đầu với mô đun đàn hồi qui đổi, sàn thép cần phải kể đến ảnh hưởng của độ võng tới lực căng trong sàn để tiết kiệm và làm việc sát thực tế khi tính toán. Từ giả thiết này, có thể thiết lập được hệ công thức tính toán cho sàn thép như trong các giáo trình tính toán kết cấu thép hiện hành [2].

Vì sàn có chiều dày nhỏ nên thông thường trong thiết kế trạng thái giới hạn 1 (võng) xảy ra trước trạng thái giới hạn 2 (bền). Như vậy bài toán thiết kế là tìm tỉ số l/t sao cho độ võng của sàn bằng độ võng cho phép và được cho trong [1,2] (xem công thức 13). Tuy nhiên, giáo trình [2] không đưa ra cơ sở lý thuyết và phạm vi áp dụng công thức. Do đó, mục tiêu của bài viết là khảo sát cơ sở lý thuyết của công thức (13) và phạm vi áp dụng của công thức này phục vụ cho mục đích giảng dạy và ứng dụng thực hành. Bài viết sẽ trình bày cơ sở lý thuyết, các công thức chính xác và gần đúng để tìm tỉ số l/t thỏa mãn điều kiện về độ võng.

2. Nội dung

2.1. Thiết lập công thức tính toán l/t theo q , n_0

Trong bài toán thiết kế, cần phải chọn chiều dày sàn và nhịp sàn sao cho độ võng của sàn bằng độ võng giới hạn, từ đó ta có điều kiện sau

$$\Delta = [\Delta] = \frac{l}{n_0} \quad (1)$$

Trong đó n_0 là nghịch đảo của độ võng cho phép [2]

$$n_0 = \left[\frac{1}{\Delta} \right] \quad (2)$$

Thay công thức tính độ võng theo [2]

$$\Delta = \frac{\Delta_0}{1 + \alpha} \quad (3)$$

Vào (1)

$$\frac{\Delta_0}{1 + \alpha} = \frac{1}{n_0} \quad (4)$$

Từ đó thu được

$$\alpha = \frac{\Delta_0}{l} n_0 - 1 \quad (5)$$

Theo [2] có α là nghiệm của phương trình

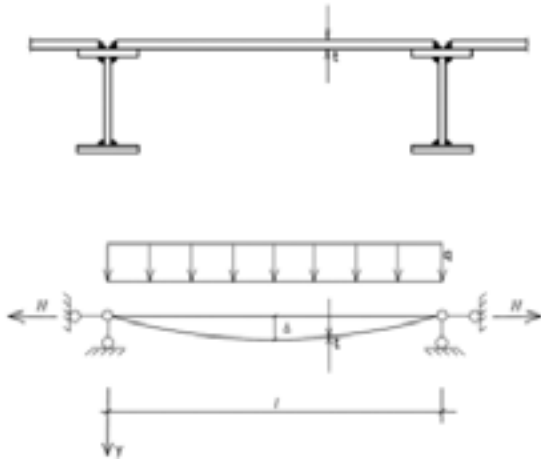
$$\alpha(1 + \alpha)^2 = 3 \left(\frac{\Delta_0}{t} \right)^2 \quad (6)$$

Thay α từ (5) vào (6) có

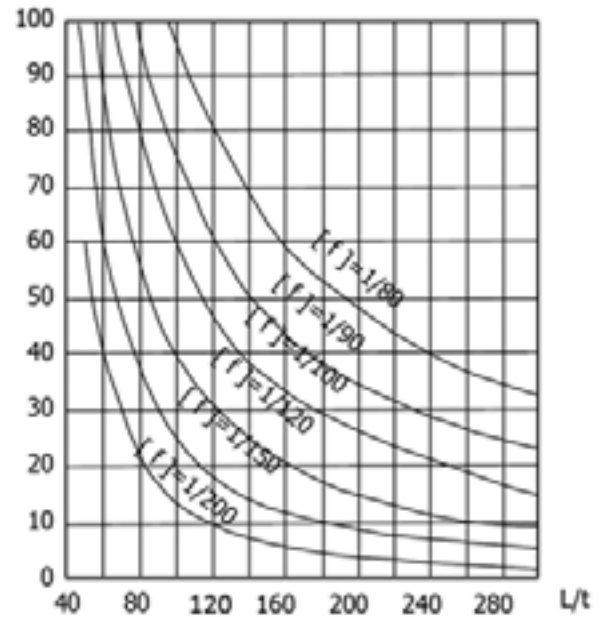
$$\left(\frac{\Delta_0}{l} n_0 - 1 \right) \left(\frac{\Delta_0}{l} n_0 \right)^2 = 3 \left(\frac{\Delta_0}{t} \right)^2 \quad (7)$$

Hay rút gọn lại là

$$\left(\frac{\Delta_0}{l} n_0 - 1 \right) \left(\frac{n_0}{l} \right)^2 = \frac{3}{t^2}$$



Hình 1. Sơ đồ tính toán của bài toán sàn mỏng có kể đến biến dạng



Hình 2. Đồ thị quan hệ giữa tải trọng và độ võng theo [1,2]

(8)

Theo [1,2] Δ_0 là độ võng của dầm đơn giản cho bởi

$$\Delta_0 = \frac{5}{384} \frac{q_c l^4}{E_1 I} = \frac{5}{384} \frac{q_c l^4}{\frac{E_1}{12} l^3} = \frac{5}{32} \frac{q_c}{E_1} \left(\frac{l}{t}\right)^3 l \quad (9)$$

Trong đó q_c là tải trọng tiêu chuẩn tác dụng lên sàn, l – nhịp sàn, $E_1 = E/(1-\nu^2)$ – mô đun đàn hồi quy đổi khi tính toán sàn, ν – hệ số Poisson, E – mô đun đàn hồi của sàn.

Thay (9) vào (7) có

$$\left(\frac{5}{32} \frac{q_c}{E_1} \left(\frac{l}{t}\right)^3 n_0 - 1 \right) \left(\frac{n_0}{l} \right)^2 = \frac{3}{t^2} \quad (10)$$

Từ đó có phương trình để xác định tỉ số nhịp sàn / chiều dày sàn để độ võng bằng độ võng giới hạn:

$$\left(\frac{l}{t} \right)^3 - \frac{96}{5 n_0^3 q_c} E_1 \left(\frac{l}{t} \right)^2 - \frac{32}{5 n_0 q_c} E_1 = 0 \quad (11)$$

Nghiệm chính xác của phương trình

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{5 n_0^3 q_c} \left[-2(-1)^{\frac{2}{3}} \left(-4096 E_1^3 - 50 E_1 n_0^8 q_c^2 + 10 \sqrt{E_1^2 n_0^8 q_c^2 (4096 E_1^2 + 25 n_0^8 q_c^2)} \right) + 32 E_1 \left(1 + \frac{8(-1)^{\frac{1}{3}} 2^{\frac{2}{3}} E_1}{\left(-2048 E_1^3 - 25 E_1 n_0^8 + 5 \sqrt{E_1^2 n_0^8 q_c^2 (4096 E_1^2 + 25 n_0^8 q_c^2)} \right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right] \quad (12)$$

A. Л. Телоян [1] đã tìm được nghiệm gần đúng của phương trình (12) dưới dạng đơn giản hơn, dễ áp dụng trong thực hành

$$\left[\frac{1}{t} \right] = \frac{4 n_0}{15} \left(1 + \frac{72 E_1}{n_0^4 q_c} \right) \quad (13)$$

Từ đó có thể lập ra được đồ thị quan hệ (l/t) đối với các trường hợp khác nhau theo [1,2] như đồ thị Hình 2.

2.2. Thiết lập đồ thị và bảng tra mới tra cứu l/t theo q_c

Từ công thức (11)

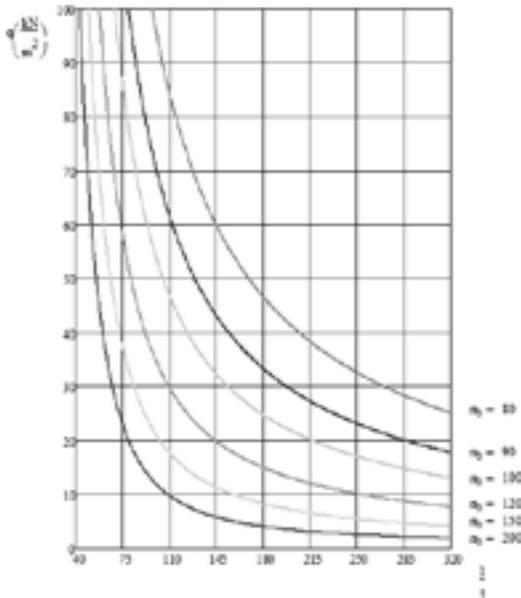
$$\left(\frac{l}{t} \right)^3 - \frac{96 E_1}{5 n_0^3 q_c} \left(\frac{l}{t} \right)^2 - \frac{32 E_1}{5 n_0 q_c} = 0$$

Bảng 1. Bảng tra giá trị $[I/t]$ theo q

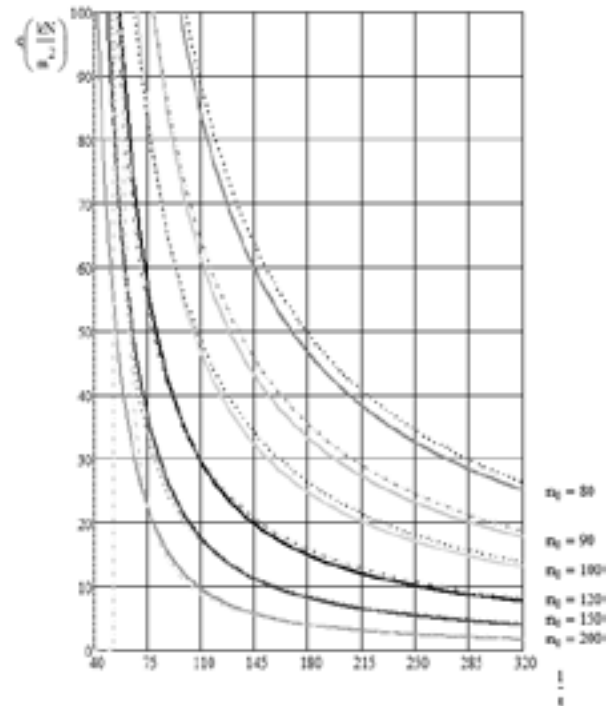
$q(kN/m^2)$	$[I/t]$ ($n_0=80$)	$[I/t]$ ($n_0=90$)	$[I/t]$ ($n_0=100$)	$[I/t]$ ($n_0=120$)	$[I/t]$ ($n_0=150$)	$[I/t]$ ($n_0=200$)
2	3938.042	2766.408	2017.651	1170.752	609.3969	291.5333
4	1969.832	1384.663	1011.285	591.3406	320.4766	178.6427
6	1314.121	924.7213	676.8889	400.525	227.8705	140.6311
8	986.5327	695.2201	510.4477	306.5633	182.8369	120.6789
10	790.1906	557.8845	411.1506	251.0971	156.1934	108.0064
12	659.4691	466.6208	345.3886	214.6933	138.4875	99.06364
14	566.2426	401.673	298.7557	189.0505	125.7842	92.31924
16	496.4478	353.1622	264.048	170.0426	116.1654	86.99538
18	442.2715	315.5996	237.2637	155.3966	108.5868	82.65113
20	399.0257	285.6913	216.0029	143.7622	102.4316	79.01588
22	363.7267	261.3413	198.7398	134.2903	97.31166	75.91333
24	334.3854	241.1522	184.4585	126.4212	92.97029	73.22306
26	309.6247	224.1565	172.4574	119.7721	89.23065	70.85971
28	288.4607	209.6634	162.2366	114.0728	85.96676	68.76084
30	270.172	197.1668	153.4307	109.1273	83.08632	66.87959
32	254.2174	186.287	145.7666	104.79	80.52004	65.18
34	240.183	176.7341	139.0367	100.9509	78.21481	63.63395
36	227.7471	168.283	133.08	97.52503	76.12922	62.21911
38	216.6554	160.7559	127.7702	94.44575	74.23041	60.91746
40	206.7049	154.0112	123.0066	91.66029	72.492	59.71429
42	197.7308	147.9341	118.7084	89.12612	70.89251	58.59747
44	189.5988	142.4313	114.8097	86.80869	69.41427	57.55685
46	182.1975	137.4257	111.2565	84.67957	68.04258	56.58391
48	175.4345	132.8531	108.0038	82.71519	66.76512	55.67141
50	169.2321	128.6599	105.0143	80.89581	65.57146	54.81316
52	163.5244	124.8009	102.2565	79.20479	64.45274	54.00384
54	158.2555	121.2377	99.7037	77.62801	63.40134	53.23882
56	153.3776	117.9374	97.33317	76.15337	62.41067	52.51408
58	148.8492	114.8718	95.1254	74.77047	61.47503	51.8261
60	144.6348	112.0165	93.06357	73.47032	60.58943	51.17177
62	140.7032	109.3505	91.13313	72.24507	59.7495	50.54835
64	137.0272	106.8552	89.32137	71.08788	58.95137	49.9534
66	133.5829	104.5147	87.6172	69.99275	58.19164	49.38475
68	130.3494	102.3146	86.01087	68.95435	57.46726	48.84045
70	127.3081	100.2426	84.49378	67.968	56.77553	48.31875
72	124.4424	98.28739	83.05831	67.02951	56.11402	47.81808
74	121.7378	96.43928	81.6977	66.13515	55.48055	47.33701
76	119.181	94.68945	80.40592	65.28159	54.87316	46.87426
78	116.7603	93.03006	79.17759	64.46582	54.29005	46.42864
80	114.4652	91.45408	78.00785	63.68515	53.72963	45.9991
82	112.2862	89.95517	76.89237	62.93712	53.19043	45.58465
84	110.2146	88.52763	75.82722	62.21953	52.67111	45.18439
86	108.2427	87.16631	74.80884	61.53037	52.17045	44.79751
88	106.3635	85.86654	73.83402	60.8678	51.68734	44.42325
90	104.5706	84.62407	72.89983	60.23015	51.22075	44.06092
92	102.858	83.43505	72.00361	59.6159	50.76973	43.70986
94	101.2205	82.29595	71.14293	59.02364	50.33342	43.3695
96	99.65325	81.20357	70.31556	58.45209	49.91102	43.03926
98	98.15171	80.15495	69.51946	57.90006	49.50178	42.71865
100	96.71181	79.14739	68.75276	57.36646	49.10501	42.40719

Bảng 2. Sai số lớn nhất của đồ thị xấp xỉ so với chính xác tương ứng với giá trị tải trọng

n_0	80	90	100	120	150	200
Sai số lớn nhất(%)	5.67815	5.67815	5.67815	5.67815	3.95769	34.164
Giá trị q_c để sai số lớn nhất (kN/m ²)	52,9724	33,0705	21,6975	10,4637	35,2294	100



Hình 3. Đề xuất đồ thị quan hệ mới giữa tải trọng và độ võng theo nghiệm chính xác theo các giá trị n_0 khác nhau



Hình 4. So sánh đồ thị quan hệ giữa tải trọng và độ võng theo đồ thị cũ của giáo trình kết cấu thép theo và đồ thị mới (giá trị nét liền là đồ thị mới, nét đứt là đồ thị cũ)

Giải được q_c chính xác như sau

$$q_c \left(\left[\frac{l}{t} \right], n_0 \right) = \frac{96E_1 \left[\frac{l}{t} \right]^2 + 32E_1 n_0}{5 \left[\frac{l}{t} \right]^3 n_0^3} \quad (14)$$

Từ công thức(13)

$$\left[\frac{l}{t} \right] = \frac{4n_0}{15} \left(1 + \frac{72E_1}{n_0^4 q_c} \right)$$

Giải được q'_c gần đúng như sau:

$$q'_c \left(\left[\frac{l}{t} \right], n_0 \right) = \frac{72E_1}{n_0^4 \left(\frac{15 \left[\frac{l}{t} \right]}{4n_0} - 1 \right)} \quad (15)$$

Thiết lập được đồ thị mới theo công thức (14) (Hình 3)

Vì việc tra cứu đồ thị có thể khó khăn trong thực hành, để thuận tiện cho việc tính toán có thể lập ra bảng tra số 1 (Bảng 1).

Từ việc so sánh hai đồ thị cũ và mới có được các sai số lớn nhất tương ứng với các giá trị n_0 được tập hợp trong bảng 2.

4. Kết luận

Khi chọn sàn thỏa mãn công thức (13) thì sẽ có độ võng xấp xỉ độ võng tới hạn, tuy nhiên có sai số so với nghiệm chính xác là công thức (12), sai số lớn nhất trong các trường hợp là khoảng 34.164% đối với trường hợp $n_0=200$, $q_c=100$ N/mm² nếu muốn sử dụng công thức (13) với sai số chấp nhận được (<5%) đối với trường hợp $n_0=200$, thì chỉ được phép áp dụng (13) với tải trọng nhỏ hơn 20 kN/m². Các trường hợp khác sai đều có số <6% là chấp nhận được trong thực hành.

Đồ thị cũ (hình 2) được thiết lập dựa trên công thức (13) không áp dụng được với $q>55$ (kN/m²) do thiếu sót của công thức (13). Vì vậy, bài báo đã lập ra đồ thị và bảng tra mới nhằm chính xác hóa đồ thị cũ. Bảng tra 1 để vận dụng giúp người thiết kế nhanh chóng chọn được l và t của sàn rút ngắn quá trình thiết kế vì giảm bớt việc tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác mà không phải áp dụng công thức chính xác (12) khá dài./.

Tài liệu tham khảo

1. *Металлические конструкции*, Е. И. беленья. Москва, 1986.
2. *Phạm Văn Hội (chủ biên). Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2006.