

MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ AN TOÀN CỦA KẾT CẤU DÀN LƯỚI KHÔNG GIAN

Th.S Nghiêm Quang Hà
K.S. Nguyễn Quang Huy
Trường Đại Học Xây Dựng

ABSTRACT: *The space grid structure is widely using in Viet Nam, but some its problems are not solved. In this paper, three problems of space grid structures are considered.*

- *The first problem is the strength of space grid structure.*
- *The second is the analysis of the stress – state of the Cylindrical and spherical buttons.*
- *The third problem is the assessment of the reliability of structure.*

To illustrate, some examples are considered.

1. MỞ ĐẦU

Kết cấu dàn lưới không gian đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong nhiều thập kỷ gần đây, để xây dựng các công trình có khẩu độ lớn, đòi hỏi kỹ thuật cao.

Nhờ những ưu điểm vượt trội của kết cấu dàn lưới, mà nó đang dần dần thay thế các dạng kết cấu truyền thống như: dàn vì kèo thép, dàn bê tông cốt thép, bản - vỏ mái bê tông cốt thép, hệ mái dây v.v..

Ở Việt Nam, trên đường công nghiệp hoá đất nước, nhiều công trình vượt khẩu độ, có hình dáng đặc biệt, yêu cầu thi công nhanh như: cung thể thao, nhà ga sân bay, nhà công nghiệp v.v. được xây dựng ở nhiều nơi, trong đó các nhà thiết kế đã chọn kết cấu dàn lưới không gian làm mái che. Chẳng hạn, nhà thi đấu Quần Ngựa (Hà Nội), nhà thi đấu thể thao Nam Định, sân bay Quốc tế Nội Bài v.v. Nhiều đề tài cấp Bộ, cũng như các công trình nghiên cứu [1, 2, 3, 4...] đã được tiến hành để phân tích lý thuyết và thực nghiệm kết cấu dàn lưới, nhằm rút ra kết luận cần thiết cho việc sử dụng dàn lưới không gian vào xây dựng công trình.

Việc chế tạo nút và thanh cũng đã được tiến hành tại một số nơi (Cơ khí Đông Anh, Tổng công ty xây dựng COMA...). Các công nghệ lắp dựng và kiểm tra kết cấu dàn lưới cũng đã có ở Việt Nam.

Như vậy một loạt kết cấu mới, nhiều ưu điểm đã được dùng ở Việt Nam.

Các tiêu chuẩn cho thiết kế và thi công loại kết cấu đặc chủng này Việt Nam chưa có mà sử dụng của nước ngoài.

Vậy còn vấn đề gì phải bàn thêm về kết cấu dàn lưới không gian ?

Tiếp thu các công nghệ hiện đại là điều "khôn ngoan" và rất cần thiết, song tiếp thu không chỉ biết sử dụng của người khác, mà còn phải biết các nguyên tắc vận hành, sửa chữa, thay thế, cải tiến cho phù hợp với điều kiện Việt Nam, tiến tới tự sản xuất.

Với tinh thần đó, chúng tôi nghĩ một số vấn đề cần được nghiên cứu thêm về kết cấu dàn lưới không gian.

Trong báo cáo này chúng tôi trình bày một số vấn đề nhằm góp phần vào việc tìm hiểu kết cấu dàn lưới mà hiện nay ở nước ta chưa có câu trả lời rõ ràng. Cụ thể, chúng tôi trình bày các vấn đề sau:

1. Tính bền có kể đến sai lệch do lắp dựng và các nguyên nhân khác.
2. Kiểm tra bền của nút dạng trụ và cầu.
3. Độ tin cậy của kết cấu dàn lưới không gian.

2. KIỂM TRA BỀN

2.1 Sơ đồ tính

Việc tính toán nội lực của kết cấu dàn lưới không gian đã được một số cơ sở thực hiện (Trường Đại Học Xây Dựng, Viện KHCN Xây Dựng, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội, v.v.).

Sau khi đã chấp nhận một sơ đồ tính toán nào đó, thì với các chương trình quen thuộc (SAP, STAAD, v.v.), ta có thể tính được nội lực trong các thanh dàn.

Đối với kết cấu dàn lưới, người ta thường dùng sơ đồ liên kết khớp tại các nút, có nghĩa là coi tại đó mômen bằng không và coi nút có an toàn cao (không cần kiểm tra nút - không đưa nút vào sơ đồ tính toán).

Giả thiết khớp tại các nút, dẫn đến trong các thanh dàn chỉ có lực dọc là có thể chấp nhận được, vì nếu phát sinh mô men thì mômen nhỏ, thực nghiệm đã chỉ ra điều đó.

Theo lý thuyết kết cấu, tại các điểm nút giữa các thanh vốn có mômen, khi sơ đồ hoá coi là khớp (mômen bằng không) thì hệ sơ đồ hoá chịu lực kém hơn hệ thực. Trong khi ta bảo đảm an toàn cho hệ khớp, nghĩa là hệ kém hơn mà đã an toàn, thì hệ thực lại càng an toàn.

2.2 An toàn của nút

Việc coi nút là an toàn không kiểm tra và tin tưởng như vậy nhờ thực nghiệm chỉ có thể chấp nhận được với kết cấu dàn mái đơn giản, nhưng với các trường hợp phức tạp tiến hành thực nghiệm gặp nhiều khó khăn. Mặt khác, về lý thuyết, khi chế tạo các nút không chỉ nhờ thực nghiệm mà phải cần có tính toán kiểm tra.

Nếu không tính toán khó mà biết được nút an toàn đến mức nào, chọn vật liệu làm nút ra sao ?

Theo tiêu chuẩn nước ngoài [6], nếu kết cấu an toàn với chỉ số độ tin cậy $b = 3,5$ tương đương với xác suất tin cậy $P_s = 0,9997674 \approx 0,9999$, thì các điểm nối phải có mức an toàn cao hơn nhiều, cụ thể là $b = 5,0$, tương đương với xác suất tin cậy $P_s = 0,99999674 \approx 0,9999999$.

Theo tiêu chuẩn thiết kế nhà máy điện nguyên tử của Mỹ thì $P_s = 0,9999999 \approx 1$.

Rõ ràng người ta quy định an toàn của nút rất cao. Nếu vậy vật liệu nút phải được chọn như thế nào là hợp lý ? Để chọn vật liệu nút hợp lý, bảo đảm an toàn cao, kích thước phù hợp chỉ có 2 con đường bổ trợ cho nhau là nghiên cứu trạng thái ứng suất của nút và kết hợp với thực nghiệm để kiểm tra.

2.3 Sai số do lắp dựng

Một đặc điểm quan trọng của kết cấu dàn lưới là yêu cầu về lắp dựng có độ chính xác cao. Vì đây là loại kết cấu lắp liên tiếp theo từng phần, có thể tích lũy sai số để các khâu cuối cùng phạm sai số không cho phép. Điều đó cũng dẫn đến sơ đồ tính toán khác xa với kết cấu thực. Do đó, ngoài việc bảo đảm lắp dựng chính xác, cần phải kiểm tra khoảng cách sau khi lắp dựng.

Theo [1], người ta thường kiểm tra các nút theo phương ngang và dọc., sai lệch trọng tâm của gối đỡ v.v.. Nhờ lắp dựng và chế tạo tốt, nhà thi đấu Nam Định, sau khi lắp dựng xong đã kiểm tra thấy đều nằm trong miền cho phép.

- Khoảng cách sai cho phép theo phương ngang và phương dọc nhà là 1/2000 độ dài (nhỏ hơn 20mm).

- Sai lệch trọng tâm cho phép là 1/3000 nhịp dàn (nhỏ hơn 15mm);

- Sai số độ cao của các gối quanh biên (nhỏ hơn 15mm);

Các sai lệch trên có đưa vào sơ đồ tính toán được không ?

Theo tiêu chuẩn độ tin cậy của nhiều nước thì có thể chọn các sai số cho phép làm độ lệch chuẩn của các đại lượng ngẫu nhiên tham gia bài toán. Theo phương pháp tuyến tính hoá[7], ta tính được độ tin cậy với các sai số trên.

3. KIỂM TRA AN TOÀN CỦA NÚT TRỤ VÀ NÚT CẦU

3.1. Nút trụ và nút cầu được dùng rộng rãi trong kết cấu dàn lưới

Phần này nghiên cứu sự phân bố ứng suất trong nút khi chịu các lực của các thanh dàn bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Do ba kích thước của nút là tương đương, do đó dẫn đến giải bài toán lý thuyết đàn hồi.

Với nút trụ dẫn đến giải bài toán phẳng của lý thuyết đàn hồi.

Với nút cầu dẫn đến giải bài toán đàn hồi không gian.

Vấn đề tưởng như đơn giản khi dùng các chương trình tính toán kết cấu hiện hành, thật ra không phải như vậy, khó khăn ở đây là chia phần tử ra sao là hợp lý, khai báo các phần tử như thế nào ?

3.2. Nút trụ

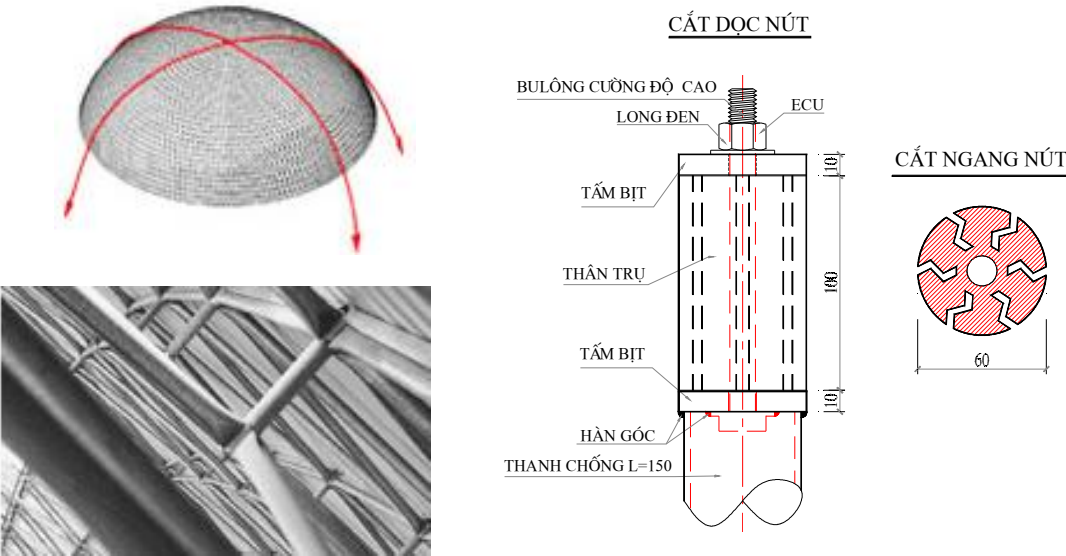
Theo tài liệu của một số công ty nước ngoài, loại nút này được sử dụng nhiều cho các công trình có suất đầu tư vừa và nhỏ, đặc biệt thích hợp với hệ mái cong hai phương, hai lớp dàn nối với nhau bằng hệ thanh chống hướng tâm (hình 1).

Kích thước hình học, đặc trưng vật liệu và cách thức gia công chế tạo nút tu ý thuộc vào từng loại công trình và trình độ công nghệ của từng quốc gia.

3.2.1. Phương pháp tính toán

Bài toán đặt ra là kiểm tra bền cho một nút bất kỳ trên một dàn mái không gian. Cách thức tiến hành như sau: sau khi có kết quả nội lực trong các thanh dàn, chúng tôi tính toán kiểm tra bền cho riêng nút đường kính 6cm, chịu tác dụng của ngoại lực có giá trị bằng 16 T/thanh. Cụ thể là với cấu tạo nút trụ, việc tính toán nút được đưa về tính cho một đoạn 0,5 cm theo chiều dài của trụ. Để đơn giản hoá, có thể khai báo lát trụ 0,5 cm

này cấu tạo từ các phần tử shells (ở trạng thái ứng suất phẳng). Từ kết quả ứng suất biến dạng tại các nút đỉnh của shells, có thể kết luận nút là bền hay không.



Hình 1. Kết cấu mái coupôl hai lớp và cấu tạo nút trụ

Với cách mô hình hoá nút trụ như trên có thể khẳng định với một cách chia phần tử hợp lý và đủ mịn, kết quả tính toán đưa ra từ máy tính là có sai số có thể chấp nhận được.

3.2.2. Kết quả tính toán

- Dưới đây là một vài kết quả tính toán nội lực của một vài shell thuộc nút trụ đường kính 6cm trên, thép CT3 như mô tả ở trên, đơn vị kGf,cm.

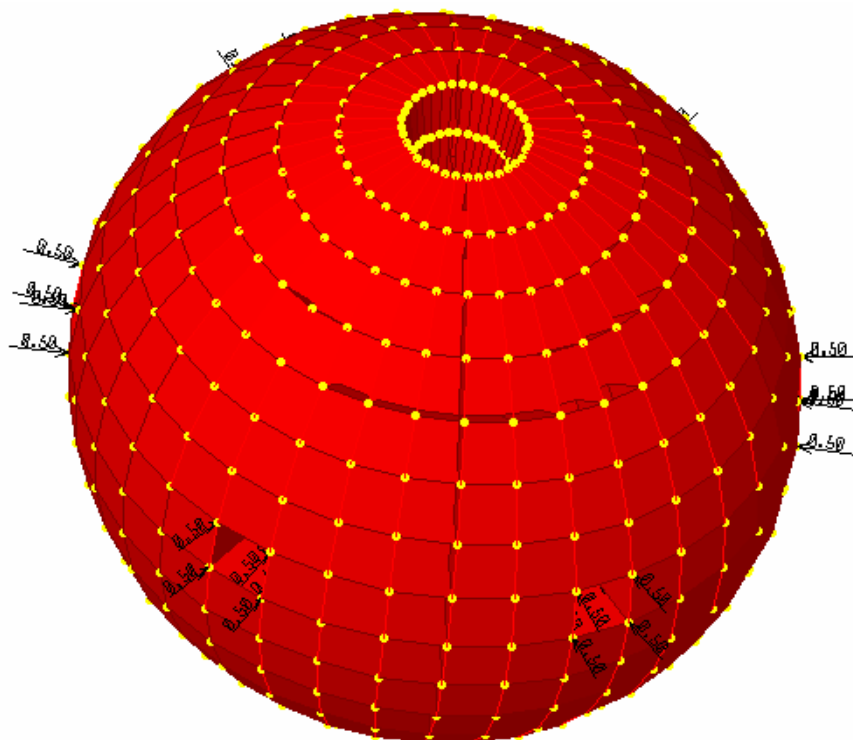
Bảng 1. Kết quả nội lực nút trụ

SHELL ELEMENT STRESSES												
SHELL	LOAD	JOINT	S11-BOT	S22-BOT	S12-BOT	SMAX-BOT	SMIN-BOT	SVM-BOT	S13-AVG	S23-AVG	SVMAX-AVG	
37	LOAD1	2	107.9	544.3	13.1	544.7	107.5	499.7	0.0	0.0	0.0	
37	LOAD1	129	90.5	537.1	31.1	539.2	88.4	500.9	0.0	0.0	0.0	
37	LOAD1	3	61.9	392.1	19.2	393.2	60.8	366.6	0.0	0.0	0.0	
37	LOAD1	145	46.2	385.9	32.4	389.0	43.1	369.3	0.0	0.0	0.0	
102	LOAD1	3	136.0	354.8	17.9	356.2	134.5	311.5	0.0	0.0	0.0	
102	LOAD1	331	140.8	358.9	23.4	361.3	138.3	315.8	0.0	0.0	0.0	
102	LOAD1	147	136.9	357.7	23.2	360.1	134.5	315.2	0.0	0.0	0.0	
153	LOAD1	3	153.4	423.6	23.9	425.7	151.3	373.7	0.0	0.0	0.0	
153	LOAD1	145	159.3	425.4	23.5	427.4	157.2	374.5	0.0	0.0	0.0	
153	LOAD1	331	156.4	422.9	28.5	425.9	153.4	373.6	0.0	0.0	0.0	
232	LOAD1	147	189.7	370.1	49.4	382.7	177.1	331.8	0.0	0.0	0.0	
232	LOAD1	331	184.5	369.6	40.2	377.9	176.1	327.6	0.0	0.0	0.0	
232	LOAD1	146	179.5	334.4	52.0	350.3	163.6	303.6	0.0	0.0	0.0	
232	LOAD1	343	174.6	334.1	42.4	344.7	164.1	298.6	0.0	0.0	0.0	
318	LOAD1	146	218.9	345.8	53.3	365.2	199.5	316.7	0.0	0.0	0.0	
318	LOAD1	343	205.0	341.4	55.6	361.2	185.2	312.9	0.0	0.0	0.0	
318	LOAD1	345	210.9	322.3	67.3	354.0	179.2	306.6	0.0	0.0	0.0	
318	LOAD1	520	198.8	318.5	69.2	350.1	167.2	303.3	0.0	0.0	0.0	
450	LOAD1	345	244.0	330.6	76.1	374.8	199.7	324.8	0.0	0.0	0.0	
450	LOAD1	520	215.1	321.1	83.3	366.9	169.4	318.0	0.0	0.0	0.0	
450	LOAD1	344	239.4	313.1	88.9	372.5	180.0	322.6	0.0	0.0	0.0	
450	LOAD1	529	212.1	304.1	95.9	364.5	151.8	317.1	0.0	0.0	0.0	
550	LOAD1	344	255.7	316.3	108.2	398.4	173.6	345.9	0.0	0.0	0.0	
550	LOAD1	529	221.6	306.0	109.3	381.0	146.7	332.8	0.0	0.0	0.0	
550	LOAD1	531	253.0	308.9	124.3	408.3	153.6	357.2	0.0	0.0	0.0	
550	LOAD1	725	221.0	299.3	125.2	391.3	129.0	345.3	0.0	0.0	0.0	
669	LOAD1	531	260.4	309.3	140.1	427.2	142.6	376.7	0.0	0.0	0.0	
669	LOAD1	725	213.7	295.2	141.5	401.8	107.2	360.3	0.0	0.0	0.0	
669	LOAD1	530	263.3	317.8	154.7	447.6	133.4	398.0	0.0	0.0	0.0	

3.3. Nút cầu

3.3.1. Phương pháp tính toán

Trên cơ sở nút cầu được cấu thành từ các phần tử khối hình chóp tứ giác cụt, chúng tôi đã tính toán kiểm tra bền cho một nút cầu đường kính 16cm, khoan 6 lỗ cầu tạo, chịu lực nén từ thanh dầm có giá trị 16T/thanh. Dựa vào kết quả ứng suất tại mỗi nút trong nút cầu, có thể kết luận sơ bộ nếu dùng thép CT3 có $R=2200 \text{ kG/cm}^2$ thì điều kiện bền của nút không đảm bảo theo thuyết bền ứng suất pháp lớn nhất ($S_{\max}=3697,2 \text{ kG/cm}^2 > R=2200 \text{ kG/cm}^2$). Vậy cần phải sử dụng thép có cường độ cao hơn để chế tạo nút này.



Hình 2. Mô hình hoá nút cầu đường kính 16cm

Việc tính toán kiểm tra nút cầu thực chất được đưa về so sánh ứng suất biến dạng tại từng điểm trong nút với ứng suất biến dạng cho phép của vật liệu chế tạo nút. Chúng tôi đã tiến hành xây dựng phần mềm chia nút thành các phần tử khối có kích thước tùy ý. Kết hợp với phần mềm tính toán kết cấu sẵn có, cụ thể là SAP2000, với khả năng của máy tính như hiện nay, có thể nói rằng kết quả mà máy tính cung cấp là tin cậy được khi ta chia nút cầu đủ mịn và hợp lý.

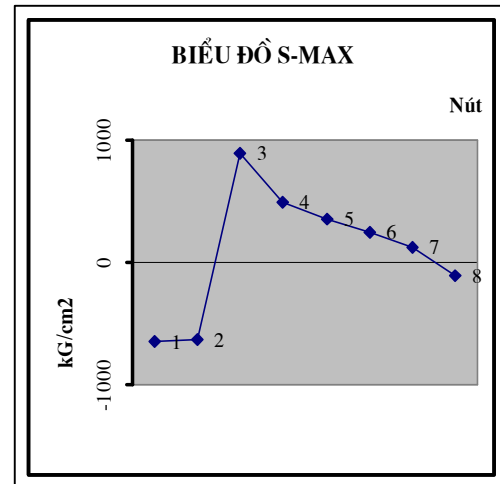
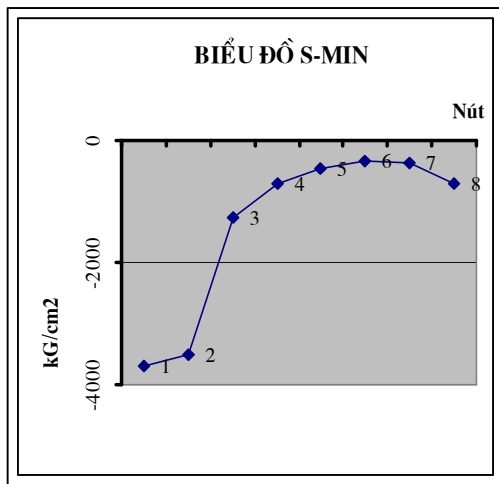
3.3.2. Kết quả tính toán nút cầu

Như vậy, với cách chia nút thành các phần tử solids hợp lý, nội lực tại các điểm trong nút được tính toán và kiểm tra. Có thể kết luận nút là bền hay không, người kỹ sư có thể chọn các thông số nút hợp lý, giúp chủ đầu tư hoàn toàn yên tâm với công trình của mình.

Dưới đây là một vài kết quả tính toán nội lực của nút cầu đường kính 16cm, thép CT3 như mô tả ở trên:

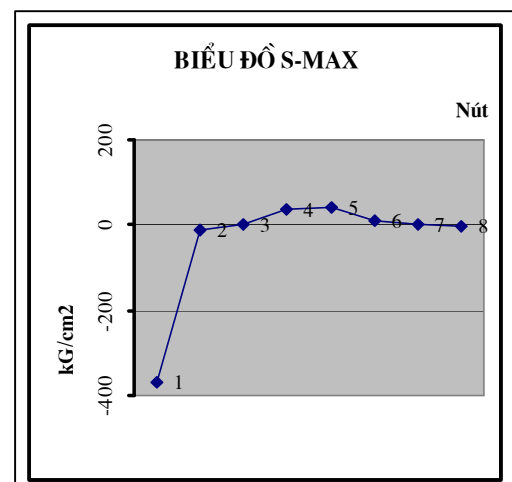
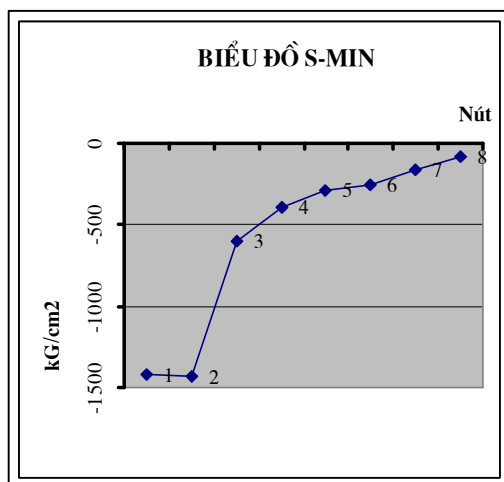
Bảng 2. Kết quả tính toán phân tích nội lực cho các điểm trên tia chứa các nút từ A289 đến H289 (sắt lỗ khoan)

Số thứ tự nút	SOLID	LOAD	JOINT	S11	S22	S33	S12	S13	S23	S-MAX	S-MID	S-MIN	SVM
1	324	LOAD1	A289	-3308.07	-938.811	-1287.23	-852.19	-527.9	-77.0396	-649.67	-1186.7	-3697.7	2818.15
2	324	LOAD1	B289	-3019.05	-1312.53	-878.549	-868.36	-587	-26.1243	-636.01	-1074.2	-3499.94	2671.92
3	900	LOAD1	C289	-33.6532	-337.809	75.9483	-1065.7	-68.74	-88.6922	890.833	85.2164	-1271.56	1892.86
4	1476	LOAD1	D289	-9.04497	-194.464	102.538	-588.5	-18.07	-51.1892	494.978	104.756	-700.706	1056.1
5	2052	LOAD1	E289	30.745	-137.952	80.5665	-402.56	-1.29	-32.6094	359.075	80.4386	-466.154	727.119
6	2628	LOAD1	F289	0.94054	-99.729	40.5623	-297.25	0.6715	-24.3037	253.328	40.1649	-351.719	531.551
7	3204	LOAD1	G289	-126.64	-132.583	-94.9994	-249.4	1.9476	-17.2438	120.652	-95.428	-379.447	434.429
8	3780	LOAD1	H289	-302.468	-260.694	-687.064	-165.76	59.096	19.8801	-113.47	-435.61	-701.143	509.725



Bảng 3. Kết quả tính toán phân tích nội lực cho các điểm trên tia chứa các nút từ A322 đến H322 (xa lỗ khoan)

Số thứ tự nút	SOLID	LOAD	JOINT	S11	S22	S33	S12	S13	S23	S-MAX	S-MID	S-MIN	SVM
1	322	LOAD1	A322	-1148.3	-795.6	-536.2	211.4	-349.5	163.1	-367.2	-696.7	-1416.3	929.2
2	322	LOAD1	B322	-1264.6	-1390.9	-155.2	-74.7	-378.6	176.2	-12.0	-1373.2	-1425.6	1388.2
3	898	LOAD1	C322	-479.3	-573.0	-13.2	-56.3	-70.1	32.4	0.0	-466.1	-599.4	545.1
4	1474	LOAD1	D322	-197.4	-346.9	34.6	-89.6	-20.9	10.1	37.4	-158.3	-388.8	369.5
5	2050	LOAD1	E322	-97.7	-244.2	38.8	-87.5	-7.2	3.4	39.5	-57.5	-285.1	288.6
6	2626	LOAD1	F322	-62.0	-211.4	10.0	-89.2	-1.0	0.6	10.0	-20.4	-253.1	249.3
7	3778	LOAD1	G322	-27.9	-128.4	-22.3	-59.8	2.5	-0.5	0.2	-22.5	-156.3	146.5
8	3778	LOAD1	H322	-4.0	-9.7	-76.8	-3.4	6.1	-3.5	-1.8	-11.2	-77.4	71.4



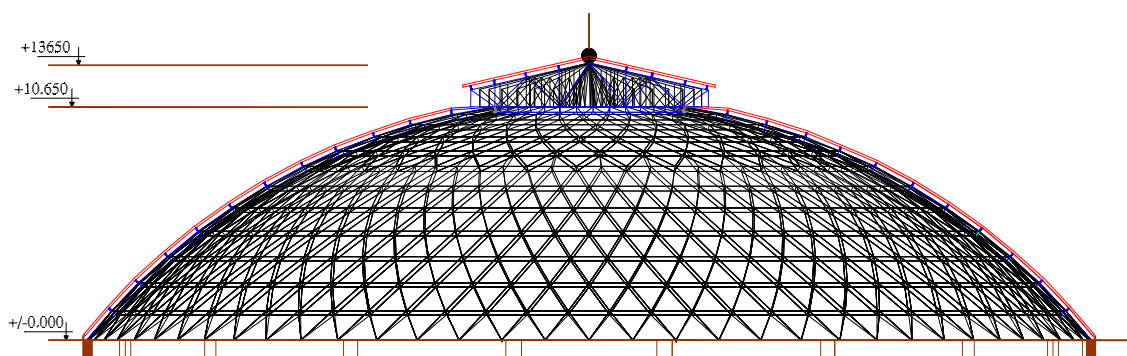
4. TÍNH ĐỘ TIN CẬY CỦA DÀN MÁI KHÔNG GIAN

4.1. Phương pháp tính

Để tính độ tin cậy (ĐTC) của dàn mái không gian, ta cần tính kỳ vọng và phương sai, kỳ vọng được tính theo phương pháp PTHH thông thường, còn phương sai tính theo phương pháp tuyến tính hoá [7]. Sau đây chúng tôi xét cho trường hợp dàn mái là chòm cầu.

4.2. Thông số kỹ thuật

Phương án mái chòm cầu được thiết kế cao 10.65 m, bán kính vành đế 48 m. Cấu tạo mái gồm 2 lớp liên kết nhau bằng các thanh chống hướng tâm chòm cầu, khoảng cách giữa 2 lớp lấy 25cm [theo Geometrica company, USA]. Toàn bộ mái được đặt trên mặt đất trên vành đế (hình 1). Bài toán đặt ra là kiểm tra bền và tính toán độ tin cậy cho dàn mái trong 2 trường hợp liên kết đầu thanh dùng nút trụ và nút cầu. Địa điểm thi công tại Hà Nội.



Hình 3. Mặt cắt dọc mái

4.3. Tính toán tải trọng

4.3.1. Tĩnh tải

• Tĩnh tải mái

Tĩnh tải mái bao gồm trọng lượng tôn và lớp cách nhiệt, trọng lượng xà gồ và cửa trời; trọng lượng các thanh dàn và nút. Phần mềm tính toán kết cấu SAP 2000 có chức năng gán tải trọng do trọng lượng bản thân các cấu kiện gây ra nên chỉ tiến hành tính toán các thành phần tĩnh tải còn lại. Để đơn giản ta có thể lấy tổng trọng lượng tôn + xà gồ + chống nóng + nút theo kinh nghiệm (30-40kG/m²). Chọn P=35kG/m². Do không khai báo kết cấu cửa trời vào chương trình nên cần quy tải trọng của nó về 36 nút trên vành trên của dàn. Mỗi nút chịu một lực P_{CT}:

$$P_{CT} = \Pi * R_d^2 * \frac{35}{18} = 456kG.$$

Vậy tĩnh tải mái có hướng từ trên xuống dưới, có điểm đặt tại các nút thuộc lớp trên, có giá trị bằng giá trị tải trung bình (35kG/m²) nhân với diện tích chịu tải của nút đó (riêng 18 nút thuộc vành trên cùng còn có thêm thành phần do tải trọng cửa trời gây ra). Giá trị tĩnh tải được thể hiện trong bảng tải trọng dưới đây.

4.3.2. Hoạt tải

- Hoạt tải mái:

Theo TCVN 2737, hoạt tải mái lấy 30kG/m^2 . Để đơn giản cho tính toán, trong ví dụ này chúng tôi chỉ xét 1 trường hợp hoạt tải phân bố đều trên toàn bộ mái. Tùy theo diện chịu tải mà mỗi nút trên mái có giá trị hoạt tải tác dụng khác nhau. Giá trị hoạt tải này được thể hiện trong bảng tải trọng.

Mỗi nút trên vành đế mái chịu hoạt tải có giá trị:

$$P_{\text{hưm}} = \Pi * R_d^2 * \frac{30 * 1,3}{18} = 503\text{kG}.$$

4.3.3. Tải trọng gió:

Công trình nằm trong vùng II-B có $W_0=95\text{ kG/m}^2$. Tải trọng gió tác dụng lên bề mặt công trình theo công thức:

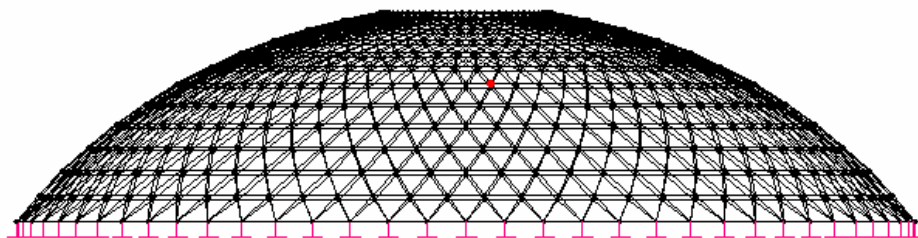
$$W=1,2 * W_0 * k * C(\text{kG/m}^2)$$

Do mái hình chỏm cầu nên giá trị hệ số khí động C tại một điểm thay đổi theo góc nghiêng của tia nổi điểm đó với tâm cầu và mặt phẳng nằm ngang. Theo bảng chỉ dẫn xác định hệ số khí động thì toàn bộ phần mái thiết kế đều chịu gió hút. Để đơn giản cho tính toán và thiên về an toàn ta lấy $C=C_{90}=-1,25$. Kết quả tính lực gió đặt tại các vành theo phương phân kỳ, tâm phân kỳ

Bảng 4. Tải trọng lên mái

STT VÀNH	ĐỘ DÀI CẠNH ĐÁY	DIỆN TÍCH CHỊU TẢI	TĨNH TẢI	HOẠT TẢI	GIÓ
	mm	m ²	kG	kG	kG
1	2000	1.73	56.157	67.47	-246.525
2	1900	3.34	89.806	130.26	-475.95
3	1800	3.22	87.298	125.58	-458.85
4	1685	3.1	84.79	120.9	-441.75
5	1560	2.87	79.983	111.93	-408.975
6	1430	2.67	75.803	104.13	-380.475
7	1290	2.44	70.996	95.16	-347.7
8	1142	2.18	65.562	85.02	-310.65
9	2015	3.48	92.732	135.72	-495.9
10	1730	3.12	85.208	121.68	-444.6
11	1420	2.66	75.594	103.74	-379.05
12	1100	2.12	64.308	82.68	-302.1
13	770	0.76	509	534	-1967

là tâm chỏm cầu. Tiến hành nhập giá trị tải trọng gió vào mái trong SAP2000 bằng cách khai báo lực gió tập trung có điểm đặt tại đầu trên của các thanh chống hướng tâm, có hướng trục 1 (trục i-j) của các thanh này, có giá trị thay đổi phụ thuộc diện tích chịu tải của nút, được tính toán cho trong bảng bên:



Hình 4. Sơ đồ dàn mái có liên kết bằng nút trụ

4.4. Kiểm tra bền và ổn định thanh dàn:

Căn cứ vào bảng kết quả tổ hợp tải trọng, việc kiểm tra bền và ổn định cho từng cấu kiện thanh dàn được tiến hành như các cách thông thường. Kết quả cho thấy trong cả 2 trường hợp liên kết, nội lực thu được trong thanh nhỏ thua rất nhiều so với khả năng chịu lực của thanh. Việc chọn tiết diện thanh mang hầu như thoả mãn yêu cầu kiến trúc.

4.5. Tính toán độ tin cậy của dàn theo tiêu chuẩn bền:

Bài toán đặt ra là xác định chỉ số độ tin cậy **b** của dàn mái coupol với giả thiết nút là bền.

4.5.1. Xác định tham số:

- **Tham số hình học:**

Chiều dài thanh dàn trên các lớp (các thanh chiều dài 200cm) có $\mu_L = 200\text{cm}$, $\sigma_L = 10\text{cm}$ (do lắp dựng).

Đường kính các thanh dàn D có $\mu_D = 5,7\text{cm}$, $\sigma_D = 0,057\text{cm}$.

Chiều dày ống thanh d có: $\mu_d = 0,35\text{cm}$, $\sigma_d = 0,035\text{cm}$

- **Tham số vật liệu:**

Môđul đàn hồi E có $\mu_E = 2038900 \text{ kG/cm}^2$, $\sigma_E = 20389 \text{ kG/cm}^2$.

4.5.2. Các bước tiến hành:

Bài toán đặt ra là tính độ tin cậy của dàn mái với điều kiện an toàn theo điều kiện ổn định thanh dàn có ứng suất nén lớn nhất. Dựa vào biểu đồ nội lực ta thấy thanh F9666 có nội lực $P = \min[P] = P_{\min} = -4169 \text{ kG}$, $\max[P] = P_{\max} = +3665 \text{ kG}$ thuộc vành thứ 2 kể từ đỉnh mái, có $L = 110,3 \text{ cm}$, $D = 5,7 \text{ cm}$, $d = 0,35\text{cm}$, $E = 2038900 \text{ kG/cm}^2$.

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma_{\text{od}}] = \varphi \cdot [\sigma]_n = 0,87 \cdot 2800 = 2436 \text{ kG/cm}^2, \text{ cho } \sigma_{\sigma_0} = 400 \text{ kG/cm}^2$$

Ta coi σ_{\max} phụ thuộc vào 04 biến ngẫu nhiên là (L, D, d, E). Cần tính xác suất an toàn

$$P_S = P_{\text{rob}}(\sigma_{\max} < [\sigma_{\text{od}}]), \text{ lượng dự trữ } M = [\sigma_{\text{od}}] - \sigma_{\max}.$$

$$\text{Để tính } P_S \text{ ta tính } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M}:$$

$$\text{Ở đây, } \mu_{\sigma_{\max}} = \frac{P_{\max}}{A} = \frac{4169}{5,88} = 709,01 (\text{kG/m}^2), \mu_{\sigma_{\text{od}}} = 2436 \text{ kG/cm}^2.$$

Khi đó

$$\mu_M = \mu_{\sigma_0} - \mu_{\sigma_{\max}} = 2436 - 709,01 = 1726,99 \text{ kG/cm}^2$$

$$\text{Tính } \sigma_M:$$

Trong thực tế gia công chế tạo và lắp dựng, các đại lượng ngẫu nhiên L, D, d, E chắc chắn có những sai lệch ngẫu nhiên. Sau đây ta phân tích ảnh hưởng của từng tham số thiết kế đến s_{\max} . Đặt $s_{\max} = F(L, D, d, E)$

- Độ nhạy (tốc độ biến thiên) của s_{\max} theo L.

$$\frac{\partial F}{\partial L} = \left[\frac{\sigma_{\text{sau}} - \sigma_{\text{max}}}{10} \right] = \left[\frac{710,34 - 709,01}{10} \right] = 0,133 \frac{\text{kG}}{\text{cm}}$$

\Rightarrow Độ lệch chuẩn của s_{max} do L sinh ra là:

$$\sigma'_L = \left| \frac{\partial F}{\partial L} \right| \cdot \sigma_L = 0,133 \times 10 = 1,33 (\text{kG})$$

- Độ nhạy (tốc độ biến thiên) của s_{max} theo D.

$$\frac{\partial F}{\partial D} = \left[\frac{\sigma_{\text{sau}} - \sigma_{\text{max}}}{0,057} \right] = \left[\frac{671,3 - 709,01}{0,057} \right] = -661,58 \frac{\text{kG}}{\text{cm}}$$

\Rightarrow Độ lệch chuẩn của s_{max} do D sinh ra là:

$$\sigma'_D = \left| \frac{\partial F}{\partial D} \right| \cdot \sigma_D = -661,58 \times 0,057 = -37,71 (\text{kG})$$

- Độ nhạy (tốc độ biến thiên) của s_{max} theo d.

$$\frac{\partial F}{\partial d} = \left[\frac{\sigma_{\text{sau}} - \sigma_{\text{max}}}{0,035} \right] = \left[\frac{646,45 - 709,01}{0,035} \right] = 1787,4 \frac{\text{kG}}{\text{cm}}$$

\Rightarrow Độ lệch chuẩn của s_{max} do d sinh ra là:

$$\sigma'_d = \left| \frac{\partial F}{\partial d} \right| \cdot \sigma_d = -1787,4 \times 0,035 = 62,559 (\text{kG})$$

- Độ nhạy (tốc độ biến thiên) của s_{max} theo E.

$$\frac{\partial F}{\partial E} = \left[\frac{\sigma_{\text{sau}} - \sigma_{\text{max}}}{20389} \right] = \left[\frac{708,74 - 709,01}{20389} \right] = -1,3 \times 10^{-5}$$

\Rightarrow Độ lệch chuẩn của s_{max} do E sinh ra là:

$$\sigma'_E = \left| \frac{\partial F}{\partial E} \right| \cdot \sigma_E = -1,3 \times 10^{-5} \times 20389 = -0,265 (\text{kG} / \text{cm}^2)$$

Ta có độ lệch chuẩn của s_{max} là:

$$\begin{aligned} \sigma_{\sigma_{\text{max}}} &= \sqrt{\sigma'^2_L + \sigma'^2_D + \sigma'^2_d + \sigma'^2_E} \\ &= \sqrt{(1,33)^2 + (37,71)^2 + (62,559)^2 + (0,265)^2} \approx 73,06 (\text{kG} / \text{cm}^2) \end{aligned}$$

Ta có:

$$\sigma_M = \left[\sigma_{\sigma_o}^2 + \sigma_{\sigma_{\text{max}}}^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{(400)^2 + (73,06)^2} \approx 407 (\text{kG} / \text{cm}^2)$$

$$\text{Vậy } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{1726,99}{407} \approx 4,24$$

Suy ra $P_f \approx 10^{-5}$

Có thể kết luận dàn mái có độ tin cậy cao

KẾT LUẬN

1. Vấn đề an toàn của kết cấu dàn lưới không gian là vấn đề rất phức tạp, trên đây chỉ xét một số khía cạnh của vấn đề. Bài toán ổn định và dao động của dàn chưa được xét đến. Loại kết cấu dàn lưới là kết cấu nhẹ, có khẩu độ lớn, rất nhạy cảm với gió bão, vấn đề ổn định khí động cũng là vấn đề cần quan tâm.
2. Mức độ an toàn của nút đòi hỏi cao vượt bậc so với thanh, ĐTC phải được coi bằng 1. Do đó đã không đưa vào tính trong sơ đồ ĐTC. Vấn đề này có một ý nghĩa thực tế là khi chọn vật liệu và kích thước của các nút phải bảo đảm an toàn rất cao so với thanh. Chính vì lý do đó mà người ta không đưa nút vào sơ đồ tính nội lực.
3. Tiếp thu các thành tựu của nước ngoài, dần dần làm chủ các thành tựu đó là yêu cầu đối với các nhà xây dựng. Với tinh thần đó, có lẽ trong tương lai gần Việt Nam nên có một tiêu chuẩn thiết kế kết cấu dàn lưới không gian phù hợp điều kiện Việt Nam.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn GS-TS Nguyễn Văn Phó đã cho nhiều gợi ý quý báu trong khi hoàn thành nghiên cứu này.

Công trình hoàn thành với sự hỗ trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản (ngành cơ học).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn Hội, Trần Mạnh Dũng, Vũ Hoàng, Hoàng Văn Quang, Hàn Ngọc Đức. *Một số vấn đề khi thiết kế, chế tạo, thí nghiệm và lắp dựng nhà thi đấu dạng mái lưới không gian mặt trụ nhịp 42m tại thành phố Nam Định.*
2. Nguyễn Tiến Chương. *Nghiên cứu thực nghiệm dàn lưới không gian trong điều kiện Việt Nam.* Tuyển tập công trình khoa học, Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ 7, Hà Nội 12-2002
3. Nguyễn Văn Liên, Nguyễn Tiến Chương, Lê Thanh Huấn, Ngô Mạnh Khoa, v.v. *Báo cáo tổng kết đề tài khoa học dàn lưới không gian - Mã số RD 37 - 1998 - Viện KHKT XD - Bộ Xây Dựng - 2001.*
4. Đỗ Đức Thắng. *Ứng dụng kết cấu không gian cấu trúc tinh thể vào xây dựng công trình công cộng và công nghiệp ở Việt Nam.* Báo cáo đề tài khoa học cấp bộ. Mã số B98 - 34 - 1999.
5. *Quy trình thiết kế thi công kết cấu dàn lưới JGJ 7 - 91.* Nhà xuất bản công nghiệp xây dựng bắc Kinh 1991.
6. D.E ALLEN. *Safety criteria for the Evaluation of Existing Structures.* Canadian Journal of Civil Engineering - 1992.
7. Palle Thoft - Christensen Yoshisada Murotsu. *Application of structural Systems reliability Theory.* Springer - Verlag - New York - 1986.