

(30) 斜ウェブを有するボックス桁の斜引張応力度について

(株) 大林組 ○ ヤマダ 貴志
 清水建設(株) 菊地 弘
 D-ビ-建設工業(株) 正会員 上平 謙二

1. はじめに

近年、PC斜張橋をはじめとするPC長大橋梁に、斜ウェブを有し床版幅に比べて桁高の低い扁平な断面のボックス桁が採用される場合が増加している。しかも、これらの橋梁では、施工方法として張出し架設工法が採用される場合が多く、この扁平な断面に非常に重いワーゲン荷重が作用することになる。このため、斜ウェブに生じる斜引張応力度は鉛直の場合に比べ大きくなる場合があり、しばしば問題となっているようである。

本報告は、ウェブの傾斜角度と斜引張応力度との関係を明らかにすることを目的に、外ウェブの傾斜角度を種々変化させた3室ボックス桁を有限要素法により解析し、その結果をまとめたものである。

2. 解析方法

2.1 解析対象

図-1に示すように、3室ボックス断面の斜張橋の最大張出し状態を想定し、桁高2.5m、床版幅24.0m、ウェブ上端でのウェブ中心間隔6.0mとし、外ウェブの水平面からの傾斜角度を90°、60°、45°および30°と変化させた。

また、斜材定着位置からの張出し長さを7.0mとし、先端から0.5mの位置に1ウェブ当たり200tonのワーゲン荷重を載荷するものとした。

2.2 解析モデル

斜材定着部には剛性の高い横桁が配置されており、ワーゲン荷重の影響が横桁の背面まで及ばないと考えられるため、解析モデルは図-1に示すように斜材定着部より前の片持ち梁部分のみとした。図-2に有限要素解析モデル図を示す。なお、使用要素は4節点のシェル要素とした。荷重としては、ワーゲン荷重の他、自重、プレストレスが考えられるが、着目している範囲に対して支配的な荷重であるワーゲン荷重のみを考えた。

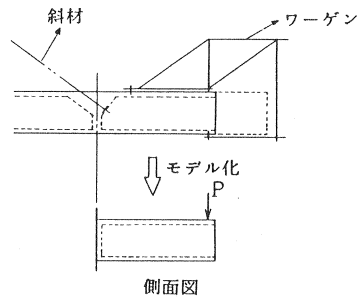
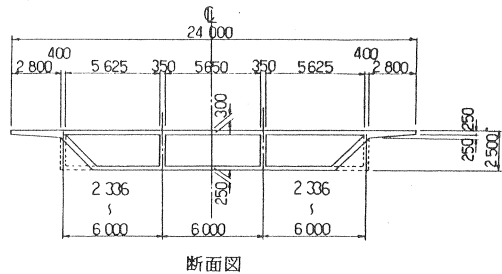


図-1. 解析対象構造

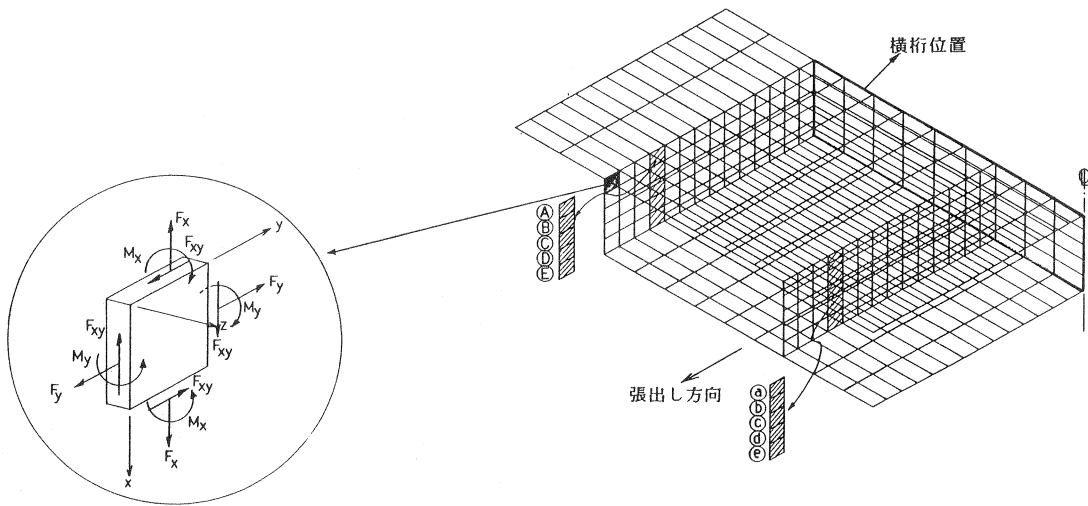


図-2. 有限要素解析モデル図

3. 解析結果

3. 1 断面力

着目断面は載荷位置から桁高の1/2離れた位置、すなわち、図-2の④~⑤（外ウェブ）、②~③（中ウェブ）の要素とする。各要素の断面力をまとめたものを表-1、表-2、及び、図-3~図-10に示す。なお、断面力の方向、符号は図-2に示すとおりである。外ウェブに注目すると、ウェブの傾斜に伴う断面力の変化は以下のとおりとなる。

① 断面方向の軸圧

縮力 F_x が増加し、特に上端で大きくなる傾向を示す。これは、ウェブが傾斜すると断面方向にトラス構造が形成され、トラスの圧縮材としてワーゲン荷重を下床版に伝えるようになるためと考えられる。

② 面内せん断力 F_{xy} は、上端ではその値が大きくなり、下端では小さくなる。

表-1 外ウェブの断面力

単位はk, m系

ウェブの角度 要素番号	30°					45°					60°					90°				
	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My
④	-50.5	2.50	-98.1	-1.43	-4.67	-18.9	6.66	-92.3	-1.31	-3.04	-4.99	9.08	-89.2	-1.13	-1.97	3.62	11.7	-86.9	-0.77	-0.23
②	-57.7	25.9	-108.9	0.53	-2.39	-26.8	-21.8	-103.5	0.32	-1.83	-13.2	-19.2	-100.8	0.11	-1.35	-4.93	-16.7	-98.8	-0.28	-0.30
③	-50.3	31.5	96.9	0.42	-0.92	-26.5	-31.7	-98.6	0.37	-0.82	-16.0	-31.1	-99.0	0.30	-0.74	-9.81	-29.9	-99.1	0.02	-0.35
⑤	-33.0	-36.7	-73.6	0.88	-0.37	-17.5	-38.5	-83.8	0.46	-0.38	-11.1	-39.5	-87.3	0.39	-0.45	-7.52	-39.7	-89.2	0.28	-0.40
①	-16.2	-39.6	-43.6	1.67	0.13	-7.3	-41.7	-62.2	0.77	-0.11	-4.24	-45.8	-68.8	0.59	-0.34	-2.77	-48.6	-72.6	0.53	-0.46

表-2 中ウェブの断面力

単位はk, m系

ウェブの角度 要素番号	30°					45°					60°					90°				
	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My	Fx	Fy	Fxy	Mx	My
③	4.77	11.4	-82.5	-1.16	-0.09	4.74	12.8	-79.7	-0.69	-0.05	4.83	13.1	-79.1	-0.55	-0.04	4.90	13.3	-79.1	-0.56	-0.08
④	-3.81	-11.4	-97.7	-0.33	0	-4.19	-9.60	-94.6	-0.32	-0.01	-4.06	-8.91	-93.8	-0.29	-0.01	-3.90	-8.66	-93.4	-0.33	-0.04
②	-9.26	-18.6	-102.0	0.56	0.08	-10.0	-16.1	-99.3	0.08	0.02	-9.98	-14.8	-98.7	-0.01	0.02	-9.85	-14.1	-98.2	-0.10	0
⑤	-6.33	-22.3	-96.4	1.46	0.16	-7.66	-18.9	-94.3	0.48	0.05	-7.75	-17.0	-94.6	0.27	0.04	-7.71	-15.7	-94.5	0.14	0.04
①	-0.72	-25.1	-85.6	2.33	0.25	-2.37	-21.2	-86.0	0.87	0.08	-2.60	-18.7	-86.5	0.54	0.07	-2.67	-18.7	-87.0	0.37	0.08

③ 断面方向の曲げモーメント M_x は、上端はボックス内側引張、下端は外側引張の方向に値が増すこれは、ウェブの傾斜に従い、外ウェブの橋軸方向の曲げ剛性が中ウェブより減少するため、外ウェブの方が鉛直方向に大きいたわむことになる。従って、断面方向のラーメンとしての断面力が生じるものと考えられる。

④ 橋軸方向の曲げモーメント M_y は、主に上端付近でボックス内側引張の方向に値が増す。これは、ウェブが傾斜することにより、面外方向の片持ち版としての挙動を呈するためと考えられる。ただし、下端の鉛直方向の変形は、中ウェブ、下床版により拘束されるため、上端の値のみ大きくなるものと考えられる。このように、ウェブが斜めになることにより、鉛直の場合では特に問題とならない断面力 F_x 、 M_x 、 M_y が生じ、無視できない値となる。

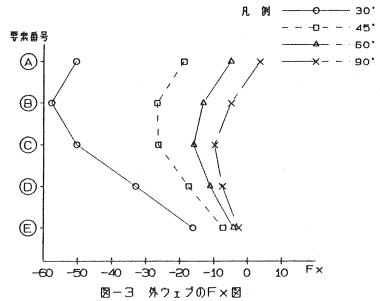


図-3 外ウェブのFx図

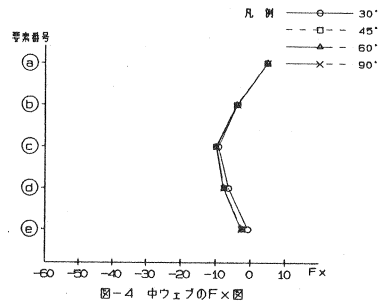


図-4 中ウェブのFx図

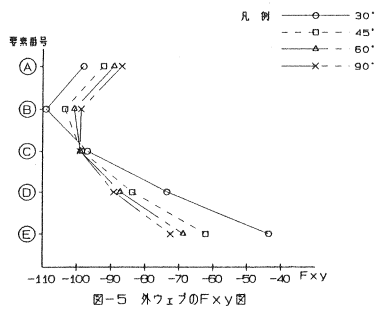


図-5 外ウェブのFxy図

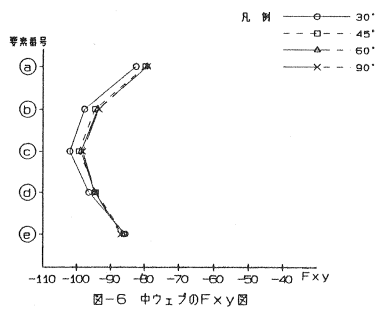


図-6 中ウェブのFxy図

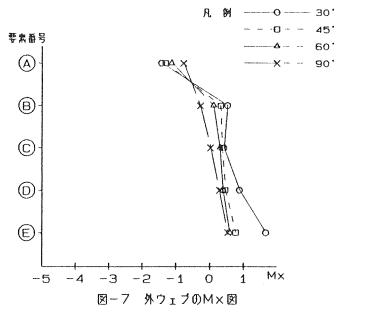


図-7 外ウェブのMx図

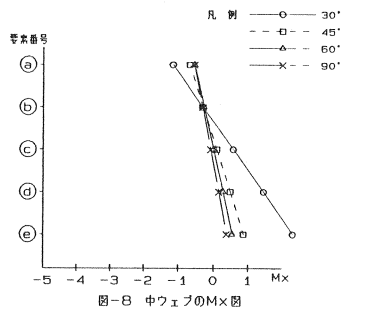


図-8 中ウェブのMx図

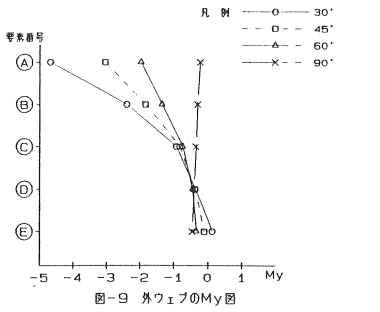


図-9 外ウェブのMy図

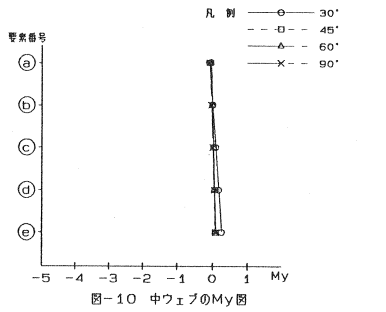


図-10 中ウェブのMy図

3. 2 応力度

前記の断面力から応力度を算定した結果を、表-3、表-4、及び、図-11～図-18に示す。外ウェブ上端に注目すると、ウェブの傾斜に伴う応力度の変化は以下のとおりとなる。

- ① F_x の増加に伴い、 σ_x の値が圧縮方向に増加する。
- ② M_y がボックス内側引張方向に増加するのに伴い、 σ_y の値が内側引張、外側圧縮の方向で増加する。
- ③ F_{xy} の値が大きくなるため、 τ_{xy} の値も大きくなる。
- ④ ボックス内側の斜引張応力度 σ_1 は、 σ_x の値が圧縮方向に増加する効果と σ_y の値が引張方向に増加する効果とが相殺することにより、特に大きな値とはならない。
- ⑤ ボックス外側の斜引張応力度 σ_1 は、 σ_x 、 σ_y とも圧縮方向に増加するため、小さくなる。

表-3 外ウェブの応力度

ウェブ角度	30°										45°										60°										90°									
	要素番号	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)															
A	外側	-180.0	-169.0	-303.7	-45.5	129.3	-478.2	96.4	-97.4	-253.0	-44.9	156.1	-349.9	-54.8	-51.1	-225.8	-45.2	172.9	-278.7	-19.7	20.7	-203.1	-47.8	204.6	-203.6															
	内側	-72.6	181.4	-186.6	-62.1	280.2	-171.3	2.0	130.7	-208.5	-53.6	284.5	-151.8	29.8	96.5	-220.3	-49.3	286.0	-159.7	37.8	37.9	-231.3	-45.0	296.1	-193.4															
B	外側	-124.5	-154.3	-353.7	-43.8	214.6	-493.4	-54.8	-123.1	-295.4	-41.7	208.4	-386.3	-28.9	-98.6	-260.7	-41.2	199.2	-326.8	-22.9	-52.8	-228.1	-43.1	190.8	-266.5															
	内側	-164.1	25.0	-190.6	-58.2	143.2	-282.3	-79.2	14.3	-222.4	-50.9	194.8	-259.6	-37.0	2.7	-243.4	-47.3	227.1	-261.3	-1.8	-30.4	-265.9	-43.5	250.2	-282.4															
C	外側	-109.9	-113.2	-326.3	-44.9	214.7	-437.8	-52.2	-110.1	-291.3	-42.2	211.5	-373.9	-28.7	-105.8	-264.5	-40.9	200.0	-334.5	-23.6	-87.7	-229.3	-41.0	175.9	-287.2															
	内側	-141.7	-44.2	-158.4	-53.6	72.8	-258.7	-80.1	-48.6	-201.8	-47.2	138.1	-266.7	-51.1	-49.9	-230.6	-45.1	180.1	-281.1	-25.4	-61.8	-266.0	-43.0	223.0	-310.3															
D	外側	-49.6	-105.6	-261.9	-41.9	185.8	-341.0	-26.5	-110.4	-248.1	-40.2	183.2	-320.1	-13.1	-115.9	-232.7	-38.8	173.7	-302.8	-8.1	-114.3	-205.6	-37.8	151.3	-273.8															
	内側	-115.4	-77.7	-106.0	-50.1	11.1	-204.2	-61.0	-81.9	-170.6	-43.3	99.5	-242.4	-42.2	-81.8	-203.8	-42.2	142.7	-266.7	-29.4	-84.0	-240.0	-41.8	184.9	-298.3															
E	外側	22.2	-94.0	-185.4	-36.3	158.4	-230.1	10.8	-108.4	-192.7	-36.4	152.9	-250.4	11.4	-127.0	-186.5	-34.8	141.1	-256.8	12.8	-138.8	-168.1	-32.9	121.4	-247.3															
	内側	-103.1	-104.0	-32.7	-44.6	-70.8	-136.3	-47.0	-100.0	-118.1	-38.4	47.5	-194.6	-32.6	-101.8	-157.6	-38.8	94.2	-228.6	-26.7	-104.2	-195.1	-39.4	133.5	-264.4															

表-4 中ウェブの応力度

ウェブ角度	30°										45°										60°										90°									
	要素番号	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)	σ_x (tf/m^2)	σ_y (tf/m^2)	τ_{xy} (tf/m^2)	ANGLE (°)	σ_1 (tf/m^2)	σ_2 (tf/m^2)															
A	外側	-43.2	28.2	-236.5	-49.3	231.7	-246.7	-20.2	34.2	-225.4	-48.4	234.0	-220.0	-12.9	35.4	-223.2	-48.1	235.8	-213.3	-13.4	34.2	-224.4	-48.0	236.1	-215.2															
	内側	70.5	37.2	-234.9	-43.0	289.3	-181.6	47.3	38.8	-230.1	-44.5	273.1	-187.1	40.5	39.6	-228.9	-44.9	269.0	-188.8	41.3	41.9	-227.6	-45.0	269.2	-185.9															
B	外側	-27.2	-32.6	-272.5	-44.7	242.7	-302.4	-27.6	-27.9	-263.2	-45.0	235.4	-291.0	-25.6	-26.1	-261.6	-45.0	235.8	-287.5	-27.4	-26.3	-262.5	-45.1	235.6	-289.3															
	内側	5.5	-32.8	-285.9	-43.1	272.8	-300.2	3.7	-26.9	-277.4	-43.4	266.2	-289.5	2.4	-24.8	-274.5	-43.6	263.6	-286.0	5.1	-22.5	-271.1	-43.5	262.8	-280.2															
C	外側	1.1	-49.1	-281.2	-42.4	258.3	-306.3	-24.9	-44.9	-274.3	-44.0	239.6	-309.4	-29.0	-41.7	-273.8	-44.3	238.6	-309.2	-32.9	-40.1	-275.0	-44.6	238.5	-311.5															
	内側	-53.5	-57.4	-301.8	-44.8	246.4	-357.3	-32.5	-46.9	-293.2	-44.3	253.6	-332.9	-28.1	-43.1	-290.0	-44.3	254.4	-325.7	-23.4	-40.3	-286.2	-44.2	254.6	-318.2															
D	外側	53.4	-55.7	-265.5	-39.2	269.9	-272.2	1.7	-51.8	-261.8	-42.1	238.1	-288.2	-8.8	-46.7	-262.7	-42.9	235.6	-291.1	-15.2	-42.7	-264.5	-43.5	235.8	-293.8															
	内側	-89.6	-71.6	-285.2	-45.9	204.8	-365.9	-45.4	-56.4	-280.0	-44.4	229.2	-331.0	-35.5	-50.6	-278.0	-44.2	235.0	-321.2	-28.8	-46.8	-275.4	-44.1	237.7	-313.3															
E	外側	112.3	-59.4	-238.6	-35.1	280.0	-227.2	35.7	-56.6	-239.4	-39.5	233.3	-254.3	19.2	-50.0	-242.1	-40.9	229.2	-260.0	10.4	-43.6	-244.9	-41.9	229.8	-263.0															
	内側	-116.4	-83.9	-250.5	-46.9	150.9	-351.2	-49.3	-64.4	-252.1	-44.1	195.4	-309.1	-34.1	-56.7	-252.4	-43.7	207.3	-298.1	-25.7	-51.7	-252.3	-43.5	213.9	-291.4															

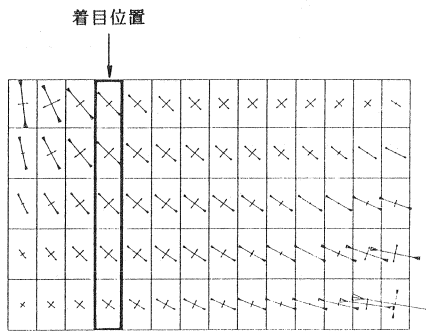


図-11 主応力図

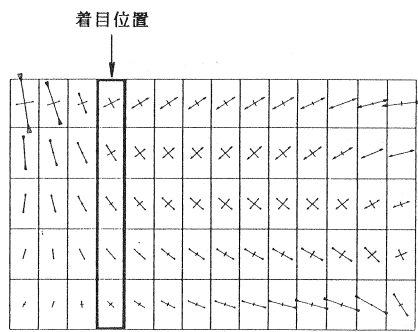


図-12 主応力図

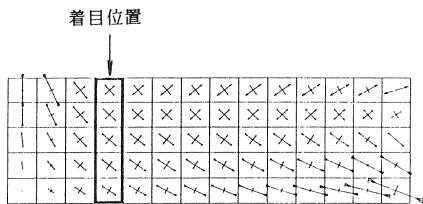


図-13 主応力図

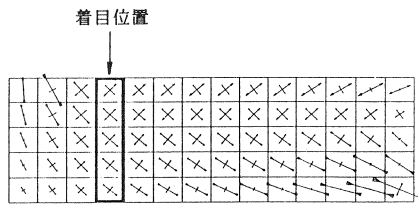


図-14 主応力図

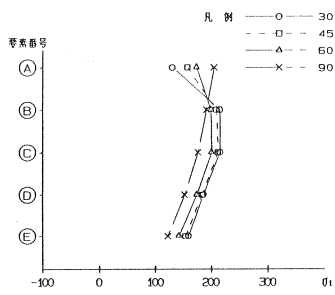


図-15 外ウェブ(外側)の最大主応力度

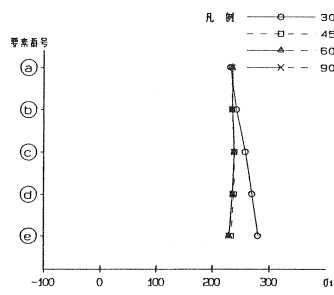


図-16 中ウェブ(外側)の最大主応力度

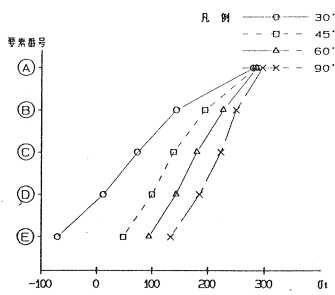


図-17 外ウェブ(内側)の最大主応力度

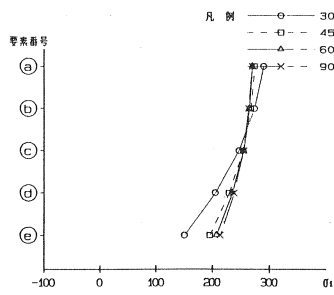


図-18 中ウェブ(内側)の最大主応力度

3.3 変位

各ウェブの張出し先端の変位を表-5に示す。ウェブの傾斜に伴い、外ウェブの鉛直方向の曲げ剛性が中ウェブに比べ小さくなり、従って、外ウェブの鉛直変位は中ウェブに比べ大きくなる。

表-5 変位表

外ウェブの角度		橋軸直角方向 (mm)	橋軸方向 (mm)	鉛直方向 (mm)
30	外ウェブ	-0.91	-0.38	-7.44
	中ウェブ	-0.15	-0.49	-3.99
45	外ウェブ	-0.55	-0.39	-5.32
	中ウェブ	-0.08	-0.45	-3.61
60	外ウェブ	-0.33	-0.39	-4.51
	中ウェブ	-0.04	-0.43	-3.48
90	外ウェブ	-0.05	-0.39	-4.01
	中ウェブ	0.00	-0.41	-3.34

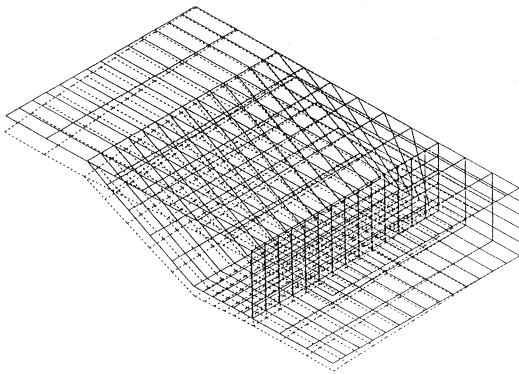


図-19. 変位図

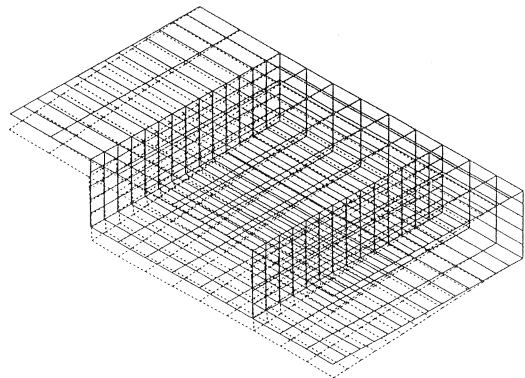


図-20. 変位図

4. 考察

今回の解析では、注目した斜ウェブの斜引張応力度については、特に大きくなる結果は得られなかった。しかし、斜引張応力度の絶対値そのものは、本検討で考慮した斜ウェブの傾斜角度の他に、以下に示す要因の影響も受けると考えられる。

① 外・中ウェブのワーゲン荷重のバランス。今回は、外と中で同じ値とした。

② ボックスの桁高、ウェブ間隔、部材厚等のバランス。

従って、実際の施工では、中ウェブに比べ外ウェブに大きなワーゲン荷重が載る場合が多いため、外ウェブの斜引張応力度はさらに大きくなることが考えられるので、設計及び施工上、注意を要する。

今回の解析では、斜ウェブを有するボックス桁の斜引張応力度に関する力学的性状を明らかにした。今後は、さらに上述の①、②を考慮し、実際に即した検討を行う必要がある。