

室蘭港架橋計画試案について (2)

— トラス系橋梁 —

室蘭工業大学工学部 正員 ○中村作太郎

室蘭工業大学工学部 学生員 土居 博史

1. 序 論

すでに、室蘭港架橋計画試案について (1)において、室蘭港架橋の意義とその実現性の検討、架橋計画試案の概要、各種の調査事項、架橋諸型式の計画概要ならびに、代表的吊橋の設計試案二つに関し発表したのが、今回は、諸型式の比較論に始まり、主として、トラス系橋梁の計画・設計試案について述べることにする。

(1) 各種橋梁型式の比較論

海峡や港湾の上に架設する海上橋の構造型式は、橋長、支間が長くなる関係で、主として、吊橋、ゲルバートラス橋、鋼アーチ橋、連続トラス橋、斜張橋などであるが、世界における既設の諸橋梁の中、各構造型式の最大支間長を示すと、表-1の通りとなる。

表-1 世界における既設の各橋梁型式の最大支間長と橋名

橋 梁 型 式	中央支間長(m)	架設年度	橋名および国名
吊 橋	1298	1964	Verrazano Narrows (米)
ゲルバートラス橋	548	1917	Quebec (カナダ)
鋼 アーチ 橋	504	1931	Bayonne (米)
斜 張 橋	302	1959	Severin (独)
連 続 ト ラ ス 橋	300	1966	天門橋 (日)
コンクリートアーチ橋	300	1962	Sydney (オーストラリア)
單純トラス橋	220	1916	Metropolis (米)
PC連続桁橋	208	1964	Bendorf (独)

以上の表の数値は、1966年までに完成した既設の橋についてのものであるが、その後架設されたものや工事中的のものを含めると、支間長の順で10位までとり、吊橋で1298m, 1280m, 1158m, 1079m, 1067m, 1013m, 1006m, 988m, 853m, 712m, ゲルバートラス橋で549m, 521m, 510m, 501m, 480m, 457m, 427m, 376m, 369m, 366m, 鋼アーチ橋で504m, 503m, 366m, 344m, 335m, 330m, 330m, 329m, 313m, 305m, 連続トラス橋で376m, 340m, 300m, 300m, 258m, 256m, 253m, 251m, 247m, 245m, 斜張橋で350m, 340m, 336m, 320m, 305m, 303m, 302m, 290m, 280m, 280mとなる。また、5位までの平均をとれば、吊橋で1176.4m, ゲルバートラス橋で512.2m, 鋼アーチ橋で410.4m, 連続トラス橋で314.8m, 斜張橋で330.2mとなり、各型式における中央支間長は年々増加する傾向にある。これは勿論科学技術の進歩・発展によるものであり、今後数十年後には予想以上の支間延長が見られるのではないかと思う。

橋梁界における世界の趨勢よりみて、今後における進歩・発展をも加味し、各橋梁型式の適用支間長を示せば、表-2の通りとなる。表中に示した $\alpha_1 \sim \alpha_8$ は、橋梁構造法、橋梁材料、構造技術などの進歩により、支間を増加出来る許容範囲を表わしたもので、勿論各型式により値が異なってくることは当然であらう。

室蘭港架橋計画の路線としては、室蘭市の祝津町と陣屋町を結ぶ線で、内防波堤の内側に沿う箇所を全長2250mを選定したことはすでに発表済みである(室蘭港架橋計画試案について (1)の図-1参照)。

いま、全長2250m中でアプローチの付属橋梁箇所を除いた中央部の全長900mの箇所に、表-2の資料を基として、各橋梁型式の海上橋を架設するものと仮定し、その力学的経済性・耐久性・安定性および美観その他について比較論究してみる。

表-2 各橋梁型式とその適用支間長

橋 梁 型 式	適用支間長(m)
吊 橋	400 ~ 1500 + α_1
ゲルバートラス橋	150 ~ 500 + α_2
鋼 アーチ 橋	200 ~ 450 + α_3
斜 張 橋	200 ~ 350 + α_4
連 続 ト ラ ス 橋	100 ~ 350 + α_5
コンクリートアーチ橋	50 ~ 300 + α_6
單純トラス橋	100 ~ 200 + α_7
PC連続桁橋	50 ~ 200 + α_8

(注) $\alpha_1 \sim \alpha_8$: 各型式の支間増加長

上述の通り、全長 900 m の箇所に経済的橋梁を架設するには、当然吊橋、ゲルバートラス橋、鋼アーチ橋、斜張橋、連続トラス橋の中の何れかに選ぶのが妥当であり、また、力学的経済性・美観の両面からみても、3 径間とするのが適当であると思う。中央支間は航路の必要性をも考えに入れ、一応 450 m として論を進める。

基礎の条件すなわち、基礎位置の水深・基礎の根入れ深さなどを考慮すると、吊橋の経済的中央支間長は 700 m ~ 800 m となり、ゲルバートラス橋および連続トラス橋では、350 m ~ 450 m、鋼アーチ橋では、200 m ~ 400 m となる。また、斜張橋の適用し得る経済的な中央支間長は、普通 200 m ~ 350 m 程度とされているが、ケーブルの数を多くし、箱桁の代りにトラスを採用すればもつと長い支間にも適用出来る。

中央支間 450 m の橋梁型式として、吊橋は不経済であり、斜張橋には風振動その他の問題があるので、ゲルバートラス橋、鋼アーチ橋、連続トラス橋の 3 型式に限定して比較してみる。

ゲルバートラス橋は吊橋に次いで長大支間の橋に選ばれた実績が相当に多く、外的には静定構造であるため地盤の悪い箇所における不同沈下に対し有利であり、架設工事の面でも片持式に行なうことが出来る特長を有している。また、ヒンジの箇所を除けば剛性に富んでいるので、吊橋や斜張橋のように耐風安定性の問題で苦勞することがない。ただヒンジ箇所の構造の設計・施工上の苦勞、ヒンジによるたわみ・振幅の増大、車の走行性に及ぼすヒンジ箇所の影響などが問題として残るだけである。

連続トラス橋はゲルバートラス橋に比べ剛性が高く、ヒンジ箇所がないため、それに付随したゲルバートラス橋に起る欠点は全くないが、その代り不静定構造であるため地盤の不同沈下による影響が大きいことと、架設工事の面でゲルバートラス橋よりも劣っている。勿論、耐風・耐震の面では安定性がよい構造型式である。

次に、鋼アーチ橋は剛度が高く、完成後の耐風・耐震安定性が比較的大きく、美観も優れているが、不静定構造としての基礎変位の影響の大きなこと、架設工事における苦勞などの面に問題点が多い。

このように、各橋梁型式には一長一短があるので、これを組合せた新構造型式の橋についても検討してみる必要がある。

(2) 設計上の基本事項

室蘭港架橋計画における橋梁設計上の基本事項を列記すれば次の通りである。

- 1) 型式: ゲルバートラス橋、連続トラス橋、鋼アーチ橋またはこれらの組合せ構造型式の橋梁
- 2) 橋種: 一等道路橋 (荷重 T-20, L-20)
- 3) 支間: $l + L + l = 225\text{ m} + 450\text{ m} + 225\text{ m} = 900\text{ m}$ の 3 径間方式
- 4) 格間: $60 @ 15\text{ m} = 900\text{ m}$
- 5) 幅員: 19.25 m (4 車線幅員 $4 @ 3.50 = 14.00\text{ m}$, 中央帯幅 2.25 m , 路肩幅員 2.50 m , 地覆幅 0.50 m)
- 6) 主構心間隔: 21.00 m
- 7) 床版: 鉄筋コンクリート床版
- 8) 舗装: 5.0 cm 厚シートアスファルト舗装
- 9) 地震強度: 水平震度 0.20, 鉛直震度 0.10
- 10) 使用鋼材: SS41, SM50, HT60, HT70, HT80
- 11) 適用示方書および設計資料: 鋼道路橋設計示方書 (1964), 溶接道路橋示方書 (1964, 1969), 道路橋耐震設計指針 (1971), 道路橋下部構造設計指針 (1970), 鉄筋コンクリート標準示方書 (1969), 高張力鋼デザインマニュアル (1964), 若戸橋調査報告書 (1963), 工事報告天草五橋 (1967), 南港連絡橋の計画 (1971, 橋梁と基礎), 海峡連絡橋の架設計画 (1969, 橋梁と基礎)

2. トラス系橋梁の架設計画試案比較論

序論において述べたように、ゲルバートラス橋、連続トラス橋、鋼アーチ橋およびこれらの合成組合せ構造型式の橋梁の中より、6 種類のトラス系橋梁試案をたて、比較論究してみる。トラス系橋梁は、桁構造型式の橋に

比べ、橋全体としての剛性に富み、耐風安定性の面でも優れている。

図-1は中路式3径間曲弦ゲルバートラス橋で、(a)はプラット型、(b)はK型(大阪南港連絡橋に採用した型式)を示す。図-2は中路式アーチ補剛3径間ゲルバートラス橋、図-3は下路式吊補剛3径間ゲルバートラス橋、図-4は上・下路式3径間曲弦連続トラス橋(島根県境水道大橋に採用した型式)、図-5は中路式3径間曲弦連続トラス橋(熊本県天草1号橋、山口県大島大橋、鹿児島県黒瀬戸大橋、広島県早瀬大橋などに採用した型式)、図-6は中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バランスドトラス・アーチ型)を示す。

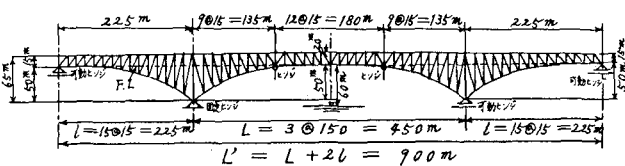
吊橋に次ぐ長大中央支間の橋梁としては、昔からゲルバートラス橋が最も多く用いられ、500mを越す実績もかなりあり、連続トラス橋の支間が未だ400m以内に止まっているのに比べ、案をたて易いという気安さがある。しかし、最近300mを越す連続トラス橋も逐次増加しつつあり、力学的経済性の面で優れたものもあるか、充分検討を要するものと思う。

天門橋(天草1号橋で支間100m+300m+100m)の架橋計画における連続トラス橋案(図-5の型式)、ゲルバートラス橋案(図-1(a)の型式)、吊補剛ゲルバートラス橋案(図-3の型式)の比較設計資料によれば、鋼重量の少ない点では、連続トラス橋案、ゲルバートラス橋案、吊補剛ゲルバートラス橋案の順であり、その他の資料よりみてもこの傾向は先ず、確実なようである。

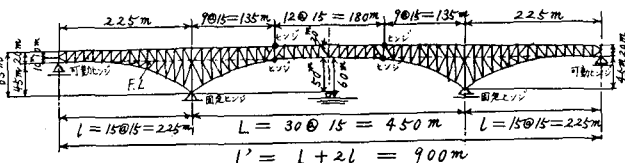
中央径間の中央矢における活荷重による最大たわみの比較では、連続トラス橋案の方が幾分大きくなっているが、これは連続

トラス橋案では、弦材に高張力鋼を多く使用したためであり、また、特にゲルバートラス橋案におけるヒンジ梁の角変化を厳密に考慮すると、連続トラス橋案の方がむしろ優れていると思う。その動荷重に対する安定性の面でも連続トラス橋案は優れた特徴をもっているといえる。

しかし、架設工事および地盤の不同沈下に対する安全性の面でゲルバートラス橋は優れているからこそ、昔から長大支間の架橋に適するものとして採用されて来たわけである。大阪南港連絡橋の架設計画では、連続トラス



(a) 曲弦ゲルバートラス橋(プラット型)



(b) 曲弦ゲルバートラス橋(K型)

図-1 中路式3径間曲弦ゲルバートラス橋一般計画図

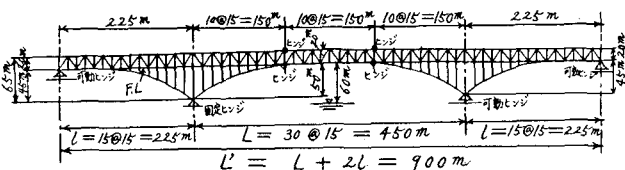


図-2 中路式アーチ補剛3径間ゲルバートラス橋一般計画図

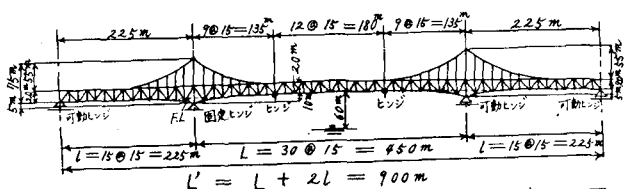


図-3 下路式吊補剛3径間ゲルバートラス橋一般計画図

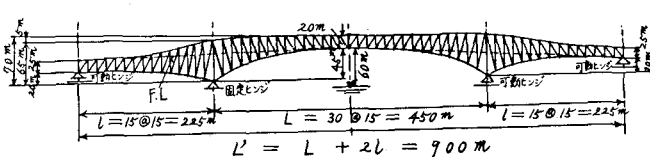


図-4 上・下路式3径間曲弦連続トラス橋一般計画図

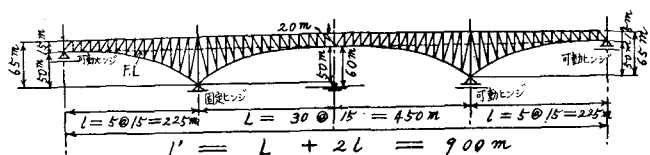


図-5 中路式3径間曲弦連続トラス橋一般計画図

橋案については初めから案をたてず
に、ゲルバートラス橋案(図-1(a)
, (b), 図-2などの型式のほか, 4
本柱型など)と斜張橋案(補剛トラ
ス型式の8本ザイル, 15本ザイルの
2案)の比較検討のみを行ない, 図
-1(b)のK型の中路式3径間ゲルバ
ートラス橋案(支間235m+510m+
235m)を採用している。

そこで, 室蘭港架橋計画試案とし
ては, 図-1, 2, 3のゲルバート
ラス橋案から図-1を選び, 図-4
, 5の連続トラス橋案から図-5を
選び, 更に, 図-6に示した連続ト
ラス・アーチ橋(バランスドトラス
・アーチ型)を特に追加し, 今後の

検討に付することとし, 今回は, 最も興味を感じている図-6に示す型式の橋梁試案について設計を試みた。

3. 中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バランスドトラス・アーチ型)の試案設計

図-6に示す中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バ
ランスドトラス・アーチ型)について設計計算を行なった結
果, 表-3の通りとなった。表に示してある鋼種は, 一次
応力度を主体として設計した場合について挙げたものであ
り, 二次応力度の合計した合成応力度を主体とするれば, 一
般と高い許容応力度を有する鋼種に変わる必要があるかど
うかの吟味・検討をしなければならぬと思う。

二次応力度は, 死荷重・活荷重の両方の影響を加えると
かなり大きくなり, 一次応力度に対する比率は, 平均値を
とって, 上弦材で28.2%, 下弦材で33.6%, 斜材で36.8
%, 垂直材で68.2%となった。垂直材における比率の大
きいのは一次応力度の小さい部材が多いからで, 大して問
題とはならない。

しかし, 長大支間のトラス系橋梁では, 活荷重と衝撃の
影響に比べて自重による影響が大であり, 常時許容応力度
に近い応力が作用しているのので, 二次応力度に対する照査
はきわめて重要であると思う。また, 支間が大きくなると
高張力鋼を使用する率が高くなるので, 変形量が大きくな
り, 微小変形理論による計算にも問題が出て来るし, また
二次応力度の計算も難しくなってくるので, 簡単に片付けてしまうわけには行かない。架設方法としては, ゲル
バートラス橋同様に張出し式架設工法によるか, 大型架設機械による一括吊上げ工法によることとなろう。また
, 反りを付けた架設の影響を取り入れた理論計算を厳密に行ない, 二次応力度と変形を極力減らすべきである。

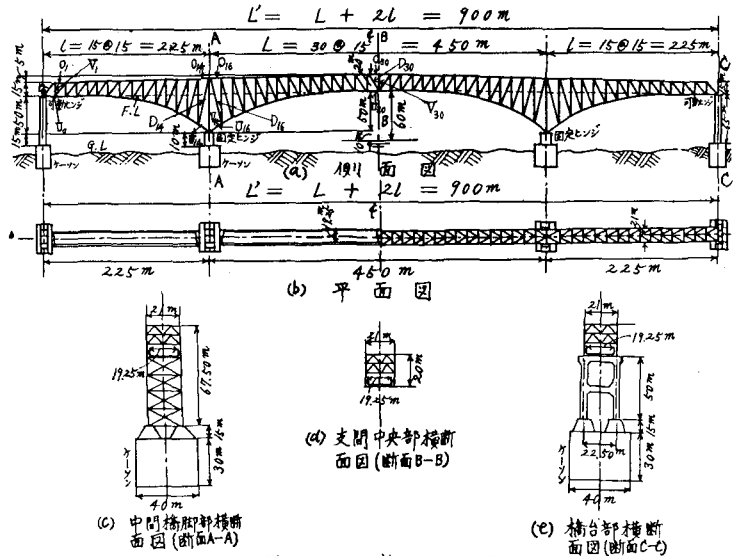


図-6 中路式3径間連続トラス・アーチ橋(バランスドトラス・アーチ型)一般計画図

表-3 試案設計の成果(単位: $\sigma_p, \sigma_c: \text{kg/cm}^2$, 鋼種: cm^2)

部材	σ_p	σ_c	断面	鋼種	部材	σ_p	σ_c	断面	鋼種	部材	σ_p	σ_c	断面	鋼種
O ₁	1263	1908	840	SS41	U ₁₁	3411	4093	1446	HT70	D ₃₁	2533	3022	1092	HT60
O ₂	1229	2005	944	SM50	U ₁₂	3399	4044	1391	HT70	D ₃₂	2557	3144	1137	HT60
O ₃	1258	1726	1020	SM50	U ₁₃	3392	3766	1124	HT70	D ₃₃	2533	2927	1137	HT60
O ₄	1228	1781	1220	SM50	U ₁₄	3375	3786	1084	HT70	D ₃₄	2535	3019	1108	HT60
O ₅	1247	2036	902	SS41	U ₁₅	3476	4157	1408	HT70	D ₃₅	2570	3122	1044	HT60
O ₆	1380	2470	1208	SM50	U ₁₆	3726	4537	1508	HT80	D ₃₆	2572	3167	938	HT60
O ₇	1252	3557	1708	HT60	U ₁₇	3721	4507	1460	HT80	D ₃₇	2443	3028	1724	HT60
O ₈	1259	3304	1020	HT60	U ₁₈	3725	4405	1232	HT80	D ₃₈	2443	2961	1226	SM50
O ₉	3512	4412	960	HT70	U ₁₉	3652	4342	1092	HT80	D ₃₉	1874	2361	1226	SM50
O ₁₀	3538	4670	1044	HT70	U ₂₀	3703	4457	1176	HT80	D ₄₀	1874	2361	1226	SM50
O ₁₁	3576	4617	1166	HT70	U ₂₁	3707	4479	1124	HT80	D ₄₁	1874	2361	1226	SM50
O ₁₂	3588	4647	1276	HT70	U ₂₂	3477	4170	1436	HT70	D ₄₂	1874	2361	1226	SM50
O ₁₃	3571	4676	1138	HT70	U ₂₃	3394	3736	11232	HT60	D ₄₃	1874	2361	1226	SM50
O ₁₄	3570	4497	1152	HT70	U ₂₄	3404	3772	11008	SM50	D ₄₄	1874	2361	1226	SM50
O ₁₅	1871	2867	1104	HT60	U ₂₅	1871	2867	1104	HT60	D ₄₅	1874	2361	1226	SM50
O ₁₆	3472	4222	1176	HT70	U ₂₆	1871	2867	1104	HT60	D ₄₆	1874	2361	1226	SM50
O ₁₇	3579	4978	1108	HT70	U ₂₇	1871	2867	1104	HT60	D ₄₇	1874	2361	1226	SM50
O ₁₈	3531	4259	1176	HT70	U ₂₈	1871	2867	1104	HT60	D ₄₈	1874	2361	1226	SM50
O ₁₉	3532	4122	1088	HT70	U ₂₉	1871	2867	1104	HT60	D ₄₉	1874	2361	1226	SM50
O ₂₀	3532	4078	1176	HT70	U ₃₀	1871	2867	1104	HT60	D ₅₀	1874	2361	1226	SM50
O ₂₁	3517	4502	1068	HT70	U ₃₁	1871	2867	1104	HT60	D ₅₁	1874	2361	1226	SM50
O ₂₂	2227	3405	1138	HT60	U ₃₂	1871	2867	1104	HT60	D ₅₂	1874	2361	1226	SM50
O ₂₃	2205	3324	1208	HT60	U ₃₃	1871	2867	1104	HT60	D ₅₃	1874	2361	1226	SM50
O ₂₄	1384	4367	1176	HT70	U ₃₄	1871	2867	1104	HT60	D ₅₄	1874	2361	1226	SM50
O ₂₅	3378	4080	1138	HT70	U ₃₅	1871	2867	1104	HT60	D ₅₅	1874	2361	1226	SM50
O ₂₆	3381	3943	1124	HT70	U ₃₆	1871	2867	1104	HT60	D ₅₆	1874	2361	1226	SM50
O ₂₇	3381	4431	1176	HT70	U ₃₇	1871	2867	1104	HT60	D ₅₇	1874	2361	1226	SM50
O ₂₈	3381	4431	1176	HT70	U ₃₈	1871	2867	1104	HT60	D ₅₈	1874	2361	1226	SM50
O ₂₉	3381	4431	1176	HT70	U ₃₉	1871	2867	1104	HT60	D ₅₉	1874	2361	1226	SM50
O ₃₀	3381	4431	1176	HT70	U ₄₀	1871	2867	1104	HT60	D ₆₀	1874	2361	1226	SM50
O ₃₁	3381	4431	1176	HT70	U ₄₁	1871	2867	1104	HT60	D ₆₁	1874	2361	1226	SM50
O ₃₂	3381	4431	1176	HT70	U ₄₂	1871	2867	1104	HT60	D ₆₂	1874	2361	1226	SM50
O ₃₃	3381	4431	1176	HT70	U ₄₃	1871	2867	1104	HT60	D ₆₃	1874	2361	1226	SM50
O ₃₄	3381	4431	1176	HT70	U ₄₄	1871	2867	1104	HT60	D ₆₄	1874	2361	1226	SM50
O ₃₅	3381	4431	1176	HT70	U ₄₅	1871	2867	1104	HT60	D ₆₅	1874	2361	1226	SM50
O ₃₆	3381	4431	1176	HT70	U ₄₆	1871	2867	1104	HT60	D ₆₆	1874	2361	1226	SM50
O ₃₇	3381	4431	1176	HT70	U ₄₇	1871	2867	1104	HT60	D ₆₇	1874	2361	1226	SM50
O ₃₈	3381	4431	1176	HT70	U ₄₈	1871	2867	1104	HT60	D ₆₈	1874	2361	1226	SM50
O ₃₉	3381	4431	1176	HT70	U ₄₉	1871	2867	1104	HT60	D ₆₉	1874	2361	1226	SM50
O ₄₀	3381	4431	1176	HT70	U ₅₀	1871	2867	1104	HT60	D ₇₀	1874	2361	1226	SM50
O ₄₁	3381	4431	1176	HT70	U ₅₁	1871	2867	1104	HT60	D ₇₁	1874	2361	1226	SM50
O ₄₂	3381	4431	1176	HT70	U ₅₂	1871	2867	1104	HT60	D ₇₂	1874	2361	1226	SM50
O ₄₃	3381	4431	1176	HT70	U ₅₃	1871	2867	1104	HT60	D ₇₃	1874	2361	1226	SM50
O ₄₄	3381	4431	1176	HT70	U ₅₄	1871	2867	1104	HT60	D ₇₄	1874	2361	1226	SM50
O ₄₅	3381	4431	1176	HT70	U ₅₅	1871	2867	1104	HT60	D ₇₅	1874	2361	1226	SM50
O ₄₆	3381	4431	1176	HT70	U ₅₆	1871	2867	1104	HT60	D ₇₆	1874	2361	1226	SM50
O ₄₇	3381	4431	1176	HT70	U ₅₇	1871	2867	1104	HT60	D ₇₇	1874	2361	1226	SM50
O ₄₈	3381	4431	1176	HT70	U ₅₈	1871	2867	1104	HT60	D ₇₈	1874	2361	1226	SM50
O ₄₉	3381	4431	1176	HT70	U ₅₉	1871	2867	1104	HT60	D ₇₉	1874	2361	1226	SM50
O ₅₀	3381	4431	1176	HT70	U ₆₀	1871	2867	1104	HT60	D ₈₀	1874	2361	1226	SM50

(注) O: 上弦材, U: 下弦材, D: 斜材, V: 垂直材; σ_p : 一次応力, σ_c : 合成応力