

## 道路橋の耐荷力に関する研究 (1)

——トラスの応力度に関する実測値について——

高 野 不 二 夫

### I 序 言

現在、一般国道で供用されている橋梁は、国道の延長 1 km 当り約 19m にも及んでいるが、その大部分は昭和 7～10 年をピークとして建設された一群と、戦後 26 年以降をピークとしているものとの二群に分けられる。特に前期に属する橋梁の大部分は、大正 15 年または昭和 8 年の示方書に準拠して設計製作されたもので、その後の経年劣化と、道路交通の量と質の増大によるて、著しく老朽化し、補修または重量制限に迫られているものが多い。この種の橋梁は逐次架け換えることが望ましいが、それに到るまでの対策として、各橋梁の耐荷力と供用限界を求める方法を確立することが道路交通の確保上要請され、建設省においても、簡便な判定方法の基準を提案している。本研究は上記の提案された方法を検討し、更に利用方法の適正化を計る目的で継続しているもので、今回は某トラス橋について主として測定応力度と計算値との一致を中心として検討の結果を述べるものである、

### II 現行の耐荷力調査案

参考までに、現在建設省を中心に調査研究されている調査指針案の内容は概ね次の各項である。

- 1) 適用範囲は非合成単純プレートガーダー橋、単純トラス橋を原則とする。
- 2) 耐荷力および供用荷重の決定は計算によって行うのを原則とする。
- 3) 基本耐荷力とは次式で与えられる  $P$  をいう。

$$P = 20 \times \frac{\sigma_a - \sigma_d}{\sigma_{20}}$$

ここに  $\sigma_{20}$  は現行の示方書(昭39)に規定された 1 等橋の活荷重および衝撃によって生ずる応力度。

$\sigma_d$  は死荷重応力度

$\sigma_a$  は設計時の材料の許容応力度

$P$  は基本耐荷力で床組については  $T-P$ 、主桁主構については  $L-P$  で表わす。

計算に当っては腐蝕などによる断面減少や部材の変位変形があれば考慮する。

- 4) 耐荷力算定の対象は非合成単純橋では主桁、縦横桁、床版とし、単純トラス橋では上記の他上下弦材、斜材、垂直材を加える。
- 5) 死荷重応力度は、非合成橋では、主桁本数  $n$  本のとき、全死荷重  $W_d$  を  $n$  で割った値を主桁 1 本当りの死荷重分担  $W_1$  とし、単純トラス橋では 2 主構の場合  $W_d/2$  を各主構の分担とし、立体構造と考えない。
- 6) 活荷重応力度は 1 等橋の  $TL$  荷重を用い衝撃係数を考慮する。荷重の分担方法はそれぞれの部材を単純支持と考えたときの荷重を受けるものとし、荷重分配は考えない

い。また非合成桁における合成効果は無視する。

- 7) 橋の基本耐荷力とは前記の橋梁の各部材について、計算から定め、各この部材群のうち最小値をその部材の基本耐荷力とする。
- 8) 供用荷重とは上記の調査により、得た結果を補正し同時に何台でも通行を許しうる自動車1台当りの総重量をいう。
- 9) 補正項目の種類

a) 応力度    b) 路面状況    c) 交通状況    他

a) については、鉄筋コンクリート床版の合成効果や荷重分担作用の影響を考慮して基本耐荷力に次の係数を乗ずるものである。

主構の非載荷弦、斜材、垂直材……1.00

主桁と主構の載荷弦……1.25

床版および床組……1.65

b) については路面の平滑度に応じ次の係数を乗ずる、

正常または舗装に多少の凹凸ある場合……1.00

路面に多少の剝離があって車の通過時に僅かに振動を誘起する場合……0.95

割れや剝離が散在しその箇所で車体がかかなり振動する場合……0.90

舗装の破壊が著るしく、車体が激しく振動する場合……0.85

c) については平常状態における橋梁上への荷重の載り方を考慮して補正係数を定めて乗ずる。

その他の補正としては、将来の期待年数橋梁の重要度、および動的挙動等による装正がある。

以上のようにして決定した部材の種類毎の供用荷重のうち、最小値をもって、その橋梁の供用荷重とするのであって、以上のような具体案は従来の測定結果に基づいて決めたものであり、更に建設省では橋梁の耐荷力に関し、次のような研究目録をもって継続調査している。

1. 架設年代並びに構造型式と基本耐荷力との関係を明らかにする。
2. 供用荷重を決定するための標準的調査方法を確立する。なおこの中には上記各項目の他に計算応力と測定実応力の差異の検討も含まれている。
3. 基本耐荷力を求める試験方法として次の3段階に分けているが、その妥当性の検討
  - A: 静的たわみ
  - B: 静的たわみ、静的ひずみ
  - C: 静的たわみ、静的ひずみ、動的たわみ

現在までの建設省案の調査方法は上記の如くであるが、これを基にして相当数の測定、研究が行われている。本報告は、先年東北地方において測定した実測値を基にし、従来の研究方向を検討したもので何等かの参考となれば幸甚である。

### Ⅲ 実測したワーレントラスに関する結果とその考察

本橋は昭和初年の架設になる、直弦鋼ワーレントラスで諸元は次の如くである。

スパン    48m

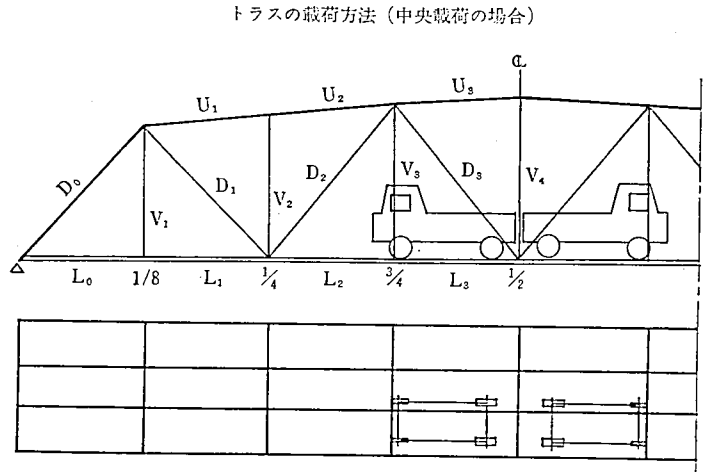
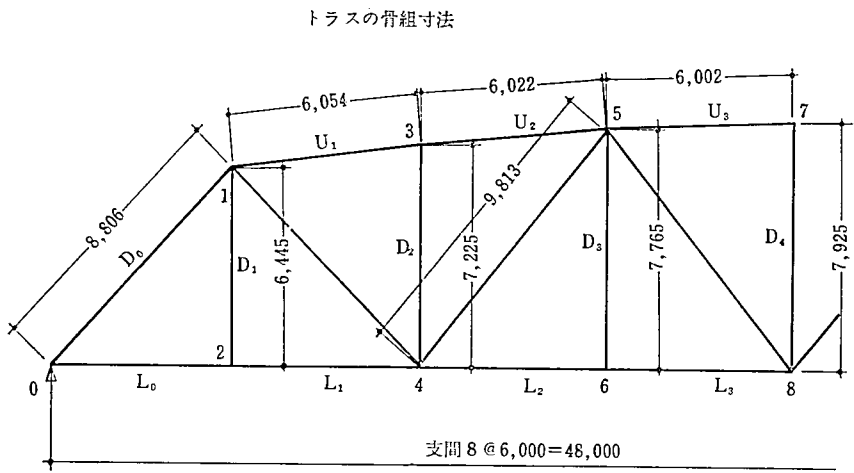
鋼 重    350kg/m<sup>2</sup>

載荷点    中央, 3/8スパン, 1/4スパン

測 点    上弦材 28点            下弦材 16点  
          斜 材 16点            垂直材 16点

トラスの応力計算は、バローズB-5,500電子計算機を用いて単位荷重による影響線を求める、別に予め計算した格点荷重を乗じて各部材応力を求め、各断面積に応じた応力度を求めた。インプットデータは、格点座標、部材断面積、断面二次モーメントである。 $I$ の値は一次応力計算には用いないが、二次応力の計算に必要なので予めインプットしたものである。このようにして上弦材3、下弦材4、端材1、垂直材4、斜材3、計15部材の影響値を求め、試験載荷した自動車荷重を以上の影響値に multiplying、各部材の計算応力度とし実測値との比較を行なった。この際各格点に分布する格点力の算出は、いわゆる慣用計算法を用いた。

トラスの寸法および一例としての中央載荷位置は次図の如くである。



第 1 図

以上のようにして求めた慣用計算応力度と実測値との比を求めると、表-1 の如くである。

表-1

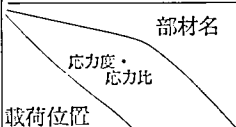
 部材名 応力度・ 応力比 載荷位置		下 弦 材				上 弦 材			垂 直 材				斜 材			
		$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
中 央	計 算 値	101	101	251	251	-130	-130	-210	0	190	102	330	157	161	91	-107
	実 測 値	25	15	90	84	-134	-128	-183	13	25	118	61	170	176	51	-109
	実測 計算(%)	25	15	36	33	103	99	87	—	13	116	19	108	109	56	102
3/8 スパン	計 算 値	126	126	277	277	-163	-162	-177	0	238	255	279	197	118	68	-133
	実 測 値	29	13	111	107	-164	-147	-147	12	32	273	32	210	120	78	-132
	実測 計算(%)	23	10	40	39	101	91	83	~	13	107	11	107	102	115	99
1/2 スパン	計 算 値	151	151	209	209	-166	-114	-118	-102	243	102	186	155	44	-129	-208
	実 測 値	57	52	74	63	-151	-141	-84	-94	29	105	21	160	46	-141	-138
	実測 計算(%)	38	34	35	30	91	124	71	92	12	103	11	103	105	109	66
1/8 スパン	計 算 値	132	132	105	105	-98	-97	-49	255	143	10	93	57	67	-51	139
	実 測 値	69	82	19	21	-99	-94	-50	277	32	0	13	15	78	-74	126
	実測 計算(%)	52	62	18	20	101	97	102	109	22	0	14	26	116	145	91

表-1 の値につき測定精度を考慮して考慮して考察を加えると、端材、上弦材、斜材の一部においてはやや例外はあるが、測定値は計算値と十分一致し良好な一致を示したと考えられ、格点力の計算法が今回の慣用方法で一般にはよいことを示すものといえよう。一致しない例としては極端な例として垂直材については、 $V_1$ 、 $V_3$  は両者が十分一致しているのに反して  $V_2$ 、 $V_4$  については測定値は計算値 15% の程度を示すに過ぎず、また下弦材では、約 33% しか発生していないことが分った。これ等の部材で大きい差を生じた理由は色々あるであろうが、概ねその原因として次の諸項が挙げられるのではないかと思う。

- 格点の拘束
- 支承条件の相違
- 上下横構と主構との協同作用

上記の項は計算の仮定として採用はしていない条件であるが、十分現実には考えられてよい条件であるから逐次各項毎に検討を加えて行くことにする。

a) については、ヒンジと仮定した格点の拘束の影響を考え、極端な場合として各格点固定として求めた影響を各部材の中央部すなわち測点付近に加えるとこれによって生ずる

いわゆる二次応力度は一次応力度に比べそれぞれ表のような比率となった。

表一2 各部材毎に二次応力度の占める比率

部材名 载荷点	下 弦 材				上 弦 材			垂 直 材				斜 材			
	$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$U_1$	$U_3$	$U_2$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_0$
中 央	16	27	10	15	1	13	2	15	12	0	0	1	3	5	6
3/8 点	17	31	13	13	1	16	15	—	6	0	12	1	7	6	2
1/4 点	15	16	16	11	7	13	14	3	3	1	1	3	15	1	4
1/8 点	16	11	21	14	9	7	16	1	6	0	1	33	3	3	4
平 均	16	21	15	13	4	12	12	6	7	0	4	9	7	4	4

表一2 から各载荷点毎に大差のある部材もあるが、測定精度を考えると、一次応力度に対する二次応力度の比は、概ね 10%~20% の範囲であって、比較的小範囲に納まり、前記の下弦材や垂直材などに見られる差異を説明するに足るべき資料とはいえない。

次に支承条件の影響を考慮に入れ両端ピンの条件で平面トラスを解くと、下弦材以外は殆んど慣用の単純支持の場合とほぼ同様の結果を得た。下弦材については、表の如くで慣用計算値との間に大きい差異を生じた。

表一3 支承条件による下弦材の影響

部材名 载荷位置	$L_0, L_1$	$L_2, L_3$
中 央	-74	39
3/8 点	-33	40
1/4 点	11	36
1/9 点	39	23
平 均	—	32

表一3 の如く、 $L_2, L_3$  については、測定値に近づく傾向を見るが、 $L_0, L_1$  については、载荷の位置により比が一定でない上、応力度の符号が逆に出る場合もあり、上記の相異を解決する一般的な理由とは考えられない。

第3に平面トラスの代りに立体トラスとして解いた場合は計算を精密に行なうと非常に複雑であるから横構の影響を簡易化して計算すると表の結果となり、 $V_2, V_4$  について特に大きい影響が見られた。その結果を示す表の数値も従来の表と同様、比率のみと示したものである。

表—4

部材名 トラス 側面 荷位置		下 弦 材				上 弦 材			垂 直 材				斜 材			
		$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$D_0$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
中 央	載 荷 側	64	69	48	54	95	94	87	100	15	100	15	100	107	105	97
	非載荷側	32	30	50	44	3	6	12	-3	0	1	0	-1	-7	-5	3
3/8 点	載 荷 側	55	55	58	61	91	88	78	100	19	100	12	102	88	101	96
	非載荷側	41	42	38	36	7	11	18	-8	8	4	3	-1	11	-1	6
1/4 点	載 荷 側	38	40	64	65	91	83	77	100	12	100	15	105	95	89	96
	非載荷側	58	59	32	32	7	16	21	-10	10	9	2	-5	14	11	5
1/8 点	載 荷 側	33	34	60	58	92	81	80	100	9	100	19	109	86	87	94
	非載荷側	62	63	37	39	6	18	19	-10	12	3	2	-8	11	14	6

表—4 の如く下弦材を除く部材については、計算応力は載荷側にほとんど大部分の約90%以上が集中発生し、他方で下弦材については最低33%、最高69%が載荷側トラスに発生し、残りは対面側の非載荷トラスに発生した。この結果は測定値と計算値の差異をかなりよく説明できるものであることは前表—1 から十分推察できることである。ここで載荷トラスとは、載荷試験車が乗る側のトラスといい、これと対向する逆側のトラスを非載荷トラスと呼んだものである。

#### Ⅳ トラスの耐荷力について

耐荷力には基本耐荷力と供用荷重があることは前述の通りであり、このトラスについてそれぞれの値を計算すると表—5 の如くなる。

#### Ⅴ 耐荷力およびその調査に対する考察

##### 1. 耐荷力の調査方法について

本報告では結果を表示しただけであるが、このトラスの床版の基本耐荷力は鉄筋で TP-10、コンクリート応力度で TP-17 であり、何れも一等橋としての荷重より小さい結果となったが、基礎となる床版厚および鉄筋の配置などは設計図を基にして計算したものである。本橋は架設後相当の年数を経て、数度の補修により床版厚もかなり厚くなっている箇所や、逆に床版コンクリートに亀裂が入り、鉄筋との付着がほとんどないような状態のものもあるので、調査に当っては強度に影響する現況を十分注意する必要があり、特に床組部は破損が著しく、供用状況も苛酷なので、この点を考慮して前記の係数 1.65 をかなり低減させるのが妥当な場合であろう。

表—5

項 目 部材名		許容応力度 $\sigma_a(\text{kg/cm}^2)$	死荷重応力度 $\sigma_d(\text{kg/cm}^2)$	活荷重応力度 $\sigma_l(\text{kg/cm}^2)$	合計応力度 $\sigma_{d+l}(\text{kg/cm}^2)$	基本耐荷力 (t)	供用荷重 (t)
床 版	鉄 筋	1200	280	1655	1935	10	12
	コンクリート	60	10	60	70	17	28
縦 桁	外	1000	300	750	1065	18	18
	内	1000	240	1465	1705	11	18
横 桁		1000	625	1275	1900	6	10
上弦材	$U_1$	1000	545	335	880	27	27
	$U_2$	1000	545	335	875	27	27
	$U_3$	1000	660	450	1065	16	16
下弦材	$L_0$	1100	495	300	795	40	40
	$L_1$	1100	495	540	1035	23	29
	$L_2$	1100	875	455	1330	10	13
	$L_3$	1100	875	375	1250	12	15
斜 材	$D_0$	960	710	430	1140	12	12
	$D_1$	1100	515	370	880	32	32
	$D_2$	855	265	365	630	33	33
	$D_3$	1100	100	240	340	83	83
垂直材	$V_1$	1100	555	795	1350	13	14
	$V_2$	1100	135	95	225	200	200
	$V_3$	1100	555	795	1350	14	14
	$V_4$	1100	195	130	325	140	140

## 2. トラス主構の計算応力度と実測応力度との差異について

トラス主構の鋼材部について、本トラスでは実測値は慣用計算による計算値を超過するものは少く、一部の部材についてはかなり下廻る値を示した。しかし、この実測結果を直ちに供用荷重の算出の基礎に用いることはかなり危険側の場合もあるものといえる。すなわち前述の如く、格点状況、二次応力、立体解析などの影響を加味すると、慣用計算値とは大いに異なり、実測値がトラス各部の応力を正しく表わしているケースがあるから実測値が計算値よりかなり超過したり、時に下廻ったからといって危険側または安全側にとり、係数を乗じて修正を行うのは、やや早計な場合もあることがありうる。今回の例によると測定方法に十分留意して精度を上げれば実測値は厳密計算値にほぼ一致するものであることが分った。したがって、正確な実測応力度が、実状に即した厳密計算値がトラスの供用荷重の基礎となる値として採用してよいであろう。

## 3. 静的たわみについて

本トラスの場合、実測値は計算値の 50% 程度で、厳密なたわみ計算に床版など床組の剛性を考慮する必要があることを示すものといえる。ただし、原則的には、トラス架設当初のたわみ資料と比較することが最も良い方法といえよう。

## 4. 動的特性について

載荷車の走行による動的拡大率は、0.05~0.25で、舗装表面状態の保守がかなり良好であった為か、係数としては比較的小さい値であったがこれもトラス新設当初の値と比較する事が望ましいのはいうまでもなく、測定時の路面の平坦性、伸縮継手の状態が相当範囲に影響するものである。トラスの自由振動周期は 0.33~0.35 秒でトラス中央の断面二次モーメントによる簡易計算方法によって求めた値と比較的よく一致する。振動の減衰状態については特徴はないように思われこの点からは、格点等の損傷は少いように思われる。以上のごとく動的特性については特に損傷度の著しい場合を除いてトラスの場合どの橋についても何れも大差なく、耐荷力の有力判定基準とはなり難いものと思われる。

以上述べた結果から判断すると、静的たわみおよび動的特性はトラス全体の著しい損傷発生の判断資料にはなるが、細部にわたる判断に対しては、適当な判別方法とは考えられない。特に架設時資料のない大多数のトラス橋について一般にこのことがいえる。結局、信頼しうる資料は載荷試験による静ひずみの測定が原則となる。この際前述の如く測定方法には十分精度が要求されるから十分熟練し、良好な条件の下で行うことが大切である。若し、実測値が計算値を超過する場合は構造または外観について特に検討しなければならないが、下廻る場合でもこの点のみからは、供用荷重は増加させるのは妥当でない。実際問題としては載荷試験は費用と期間の点で実施困難なことが多いからこの場合はできる限りの厳密計算のみでやむを得ない。以上の結果から耐荷力測定順序として次の項目が望ましいと思われる。

- ① 耐荷力の計算（厳密計算）
- ② 部材の外観および局部的詳細調査
- ③ 静的ひずみの測定
- ④ 動的特性（総合判定の参考資料）

以上の考察は、今回のトラスの測定のみに基づくもので、やや一般的でないが今後の資料の積み上げでなるべく正確な耐荷力判定の資料を作ることに努力したい。



## Ⅵ 結 論

結論今回の測定結果の整理により次の事が分った。

1. 床組は使用条件が相当きびしいので十分調査を行う必要がある。
2. 主部材の慣用計算値は実測応力度と相当な差異を生ずる場合があり、この差はある程度の厳密計算で装正できる場合がある。この厳密計算方法は橋の種類と部材の位置により異なるので適用上十分検討する必要がある。
3. 耐力調査上最も有効な方法は正確な実測値であり、特に静荷重によるひずみ測定に重点をおくのが望ましい。