

鋼道路橋の鉄筋コンクリート連続版の 設計用曲げモーメントについて (2)

—主鉄筋が車輛の進行方向に平行である場合—

正員 成岡 昌夫*
准員 米沢 博**

ON THE DESIGN BENDING MOMENT OF REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS SLAB OF STEEL HIGHWAY BRIDGES (2)

Main Reinforcement Parallel to the Direction of Traffic

(JSCE Jan. 1952)

Masao Naruoka C. E. Member, Hiroshi Yonezawa C. E. Assoc. Member

Synopsis After the analytical calculation which is quite same as the case of main reinforcement perpendicular to the direction of traffic, the following formula for the case of main reinforcement parallel to the direction of traffic was introduced.

Max. support bending moment = $-k_1 \times \text{max. bending moment for simple span}$

Max. span bending moment = $+k_2 \times \text{max. bending moment for simple span}$

where k_1 is obtained from Table 7 and k_2 from Table 5, and k_1 and k_2 are not 0.8 which appear in many reference books on the bridge engineering.

1. まえがき

本文は、前著“鋼道路橋の鉄筋コンクリート連続版の設計用曲げモーメントについて(1)主鉄筋が車輛の進行方向に直角の場合”(土木学会誌第36巻第12号、昭和26年12月)の続篇であつて、これによつて一応、主鉄筋が車輛の進行方向に直角、平行の両者の場合を論じ得るものである。

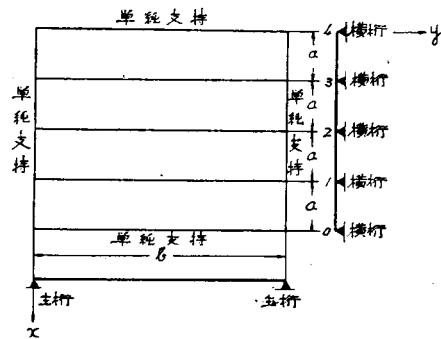
さて主鉄筋が車輛の進行方向に直角な場合をAの場合、平行な場合をBの場合と略称しよう。Aの場合について、負の最大支承曲げモーメントあるいは正の最大スパン曲げモーメントと単純版の最大スパン曲げモーメントとの比は、従来橋梁工学の参考書に述べられている0.8のごとき一定値をとるものでなく、荷重分布の矩形の両辺の巾と版のスパンとの比に応じて、適当な値を選ぶべきであることを論じておいたのであるが、こゝではBの場合について、上述の比を求めたいと思う。

2. 計算の方法

これについては上述の前著を参照されたい。この場合にも解析を便ならしめるため、版は両端主桁及び両端横桁上で単純支持、中間横桁上で連続していると考える。この場合横桁の数が多くなり、従つてスパン数が増すと解析が困難となるので、計算の都合上スパン

数を4とし、図-1のような主桁及び横桁で支持される連続版について解析するものとする。なお連続版の中間支承である横桁は、計算を簡単ならしめるため、完全に剛であるとする。また辺長比も前著に述べたところにより、 $a/b=1/5$ を対象にとるものとする。

図-1



3. 連続版の曲げモーメント

前と同様に負の最大支承曲げモーメントを M_s 、正の最大スパン曲げモーメントを M_o にて表わすものとする。また単純版の最大スパン曲げモーメントを M_o にて表わすこととし、さらに主鉄筋の方向を α とする。

まず2台の自動車(1輪荷重を P とする)が併列して、図-2のような矩形分布の荷重を考え得る場合には、図-3に示すごとくこれがスパンの中央に

* 京都大学助教授、工学部土木工学教室

** 京都大学助手

において対称的に作用する場合に、最大の M_s , M_o を生じ、その値は表-1, 2 に示すとおりである。

しかしながら現在の鋼道路橋示方書の荷重分布の規定によれば、図-3 のような場合になるためには、第1種自動車荷重で $d=(100-52)/2=24$ cm を要することになり、舗装を 5~10 cm としても、床版厚さの半分が 19~14 cm となり、普通このようなことはおこり得ないと思う。また荷重分布の考え方を 1939 年以前の示方書のように、床版の表面までとすれば、1m 隔てた輪荷重はそれぞれ単独でしかも重ならず相隣る矩形の荷重分布を持つことになる。従つて図-4 のように、1-2 スパンの中央点に関して対称の位置に1個、それより、だけ離れた位置に1個、計2個輪荷重がのる場合に、支承2-2 の中央に最大の M_s を生じ(これは厳密には正しくないが、計算の便宜上このようにする。前著参照)、その値は表-3、図-5

図-2

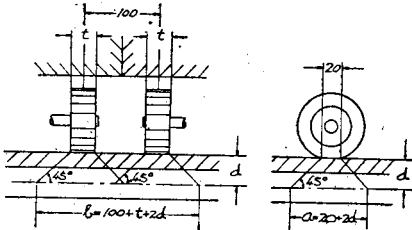


図-3

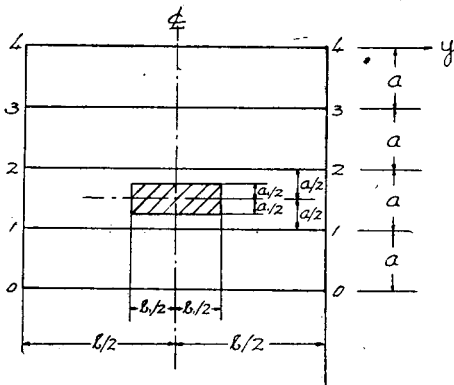


表-1 図-3 の荷重状態における負の最大 支承曲げモーメント

1. $M_s/2P$ の値

a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.096	0.094	0.092	0.090	0.087	0.082
0.2	0.096	0.094	0.092	0.090	0.086	0.082
0.3	0.096	0.094	0.091	0.085	0.081	0.077
0.4	0.095	0.093	0.090	0.084	0.080	0.076
0.5	0.093	0.092	0.089	0.086	0.082	0.078
0.6	0.091	0.090	0.087	0.084	0.080	0.076

2. $M_s/M_{0,x}$ の値

a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.41	0.44	0.47	0.50	0.51	0.51
0.2	0.50	0.52	0.53	0.55	0.56	0.56
0.3	0.57	0.59	0.59	0.61	0.61	0.61
0.4	0.64	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66
0.5	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.6	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77

のようである。またこの荷重状態で1-2 スパンの中央点に正の最大の M_o を生じ、 $M_{0,x}$ 及び $M_{0,y}$ の値は表-4、図-6 及び表-5 のようである。また図-4 のような荷重状態における $M_{0,x}$ と $M_{0,y}$ の比は表-6 に示すようであり、また同じ荷重状態における $M_{0,y}/M_{0,x}$ の値を表-7 に示してある。

表-2 図-3 の荷重状態における最大スパン 曲げモーメント

1. $M_{0,x}/2P$ の値

a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.259	0.234	0.213	0.194	0.179	0.164
0.2	0.272	0.198	0.165	0.142	0.121	0.101
0.3	0.180	0.171	0.162	0.152	0.144	0.137
0.4	0.157	0.150	0.143	0.136	0.129	0.122
0.5	0.136	0.132	0.127	0.121	0.116	0.110
0.6	0.121	0.117	0.113	0.109	0.105	0.100

2. $M_{0,y}/2P$ の値

a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.206	0.158	0.128	0.107	0.089	0.075
0.2	0.193	0.145	0.120	0.100	0.084	0.071
0.3	0.163	0.134	0.112	0.093	0.079	0.067
0.4	0.147	0.123	0.103	0.087	0.074	0.063
0.5	0.133	0.111	0.095	0.080	0.069	0.058
0.6	0.118	0.101	0.086	0.074	0.063	0.055

3. $M_{0,x}/M_{0,y}$ の値

a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	0.664	0.65	0.64	0.62	0.61	0.60
0.2	0.664	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
0.3	0.63	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59
0.4	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57
0.5	0.60	0.59	0.58	0.57	0.57	0.56
0.6	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54

図-4

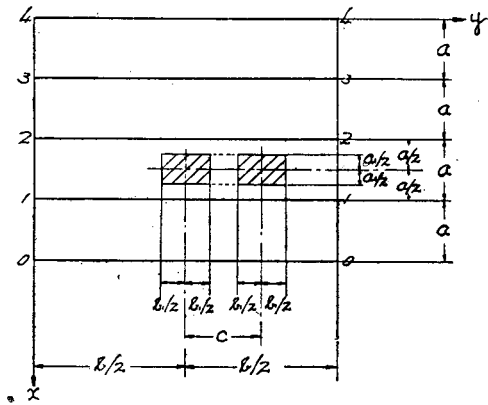


表-3 図-4 の荷重状態における最大 支承曲げモーメント (単位 P)

c/a	a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.121	0.139	0.137	0.135	0.133	0.131
	0.2	0.139	0.137	0.134	0.134	0.132	0.129
	0.3	0.137	0.135	0.133	0.132	0.130	0.127
	0.4	0.134	0.133	0.131	0.129	0.127	0.124
	0.5	0.130	0.129	0.128	0.126	0.124	0.121
	0.6	0.126	0.125	0.124	0.122	0.120	0.117
0.6	0.1	0.120	0.118	0.116	0.114	0.112	0.107
	0.2	0.118	0.116	0.114	0.112	0.109	0.105
	0.3	0.116	0.114	0.112	0.109	0.107	0.104
	0.4	0.114	0.111	0.109	0.107	0.105	0.102
	0.5	0.111	0.109	0.107	0.105	0.102	0.099
	0.6	0.108	0.106	0.104	0.102	0.099	0.096
0.8	0.1	0.106	0.104	0.102	0.100	0.097	0.095
	0.2	0.104	0.102	0.100	0.098	0.096	0.094
	0.3	0.102	0.101	0.099	0.097	0.095	0.092
	0.4	0.101	0.100	0.098	0.096	0.093	0.090
	0.5	0.099	0.098	0.097	0.094	0.091	0.088
	0.6	0.097	0.096	0.095	0.092	0.089	0.086
1.0	0.1	0.102	0.100	0.098	0.096	0.094	0.091
	0.2	0.100	0.098	0.096	0.094	0.091	0.089
	0.3	0.097	0.096	0.094	0.091	0.088	0.086
	0.4	0.096	0.094	0.092	0.090	0.087	0.084
	0.5	0.095	0.093	0.091	0.089	0.086	0.082
	0.6	0.094	0.092	0.090	0.087	0.083	0.080

図-5 最大支承曲げモーメント

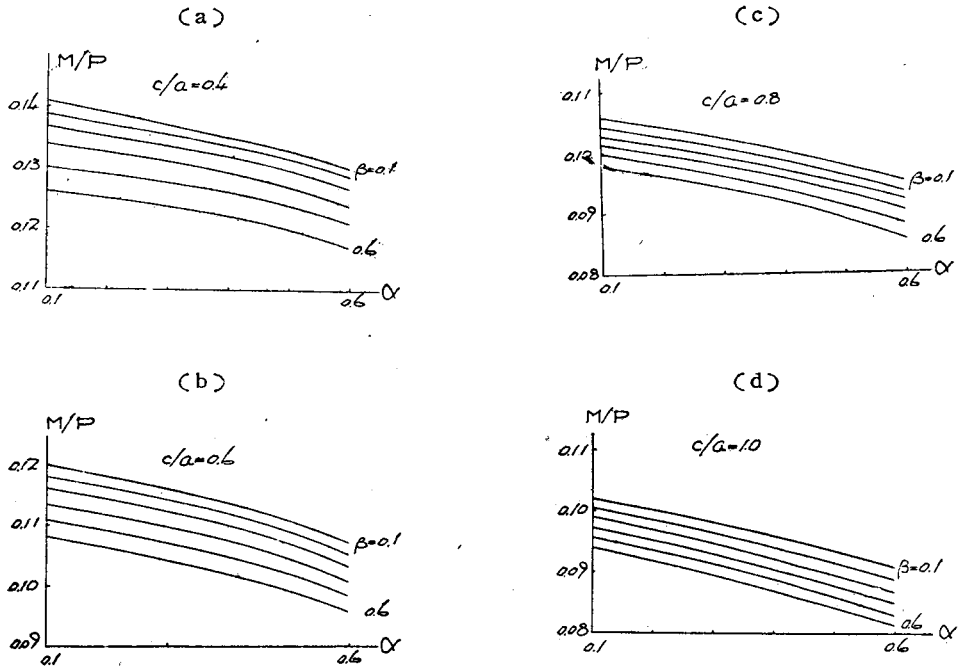


図-6 最大スパン曲げモーメント

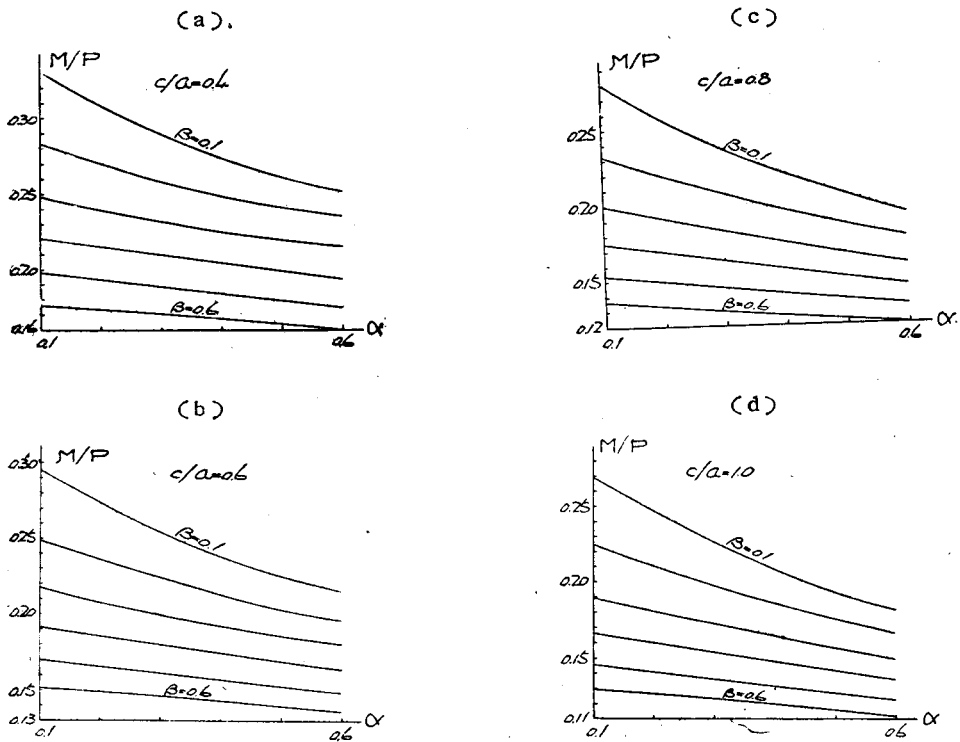


表-4 図-4 の荷重状態における正の最大スパン曲げモーメント $M_{c,x}$ (単位 P)

c/a	a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.332	0.308	0.289	0.275	0.262	0.252
	0.2	0.283	0.271	0.257	0.249	0.241	0.232
	0.3	0.246	0.240	0.232	0.225	0.219	0.213
	0.4	0.221	0.215	0.209	0.204	0.199	0.193
	0.5	0.199	0.193	0.189	0.184	0.179	0.176
	0.6	0.176	0.173	0.170	0.167	0.164	0.160
0.6	0.1	0.276	0.275	0.254	0.237	0.225	0.213
	0.2	0.247	0.237	0.225	0.213	0.203	0.196
	0.3	0.217	0.209	0.200	0.193	0.186	0.180
	0.4	0.192	0.186	0.180	0.175	0.169	0.163
	0.5	0.171	0.166	0.162	0.157	0.152	0.149
	0.6	0.152	0.150	0.147	0.144	0.139	0.136
0.8	0.1	0.280	0.256	0.236	0.220	0.206	0.193
	0.2	0.232	0.220	0.207	0.196	0.187	0.177
	0.3	0.200	0.191	0.182	0.175	0.167	0.160
	0.4	0.175	0.169	0.163	0.157	0.151	0.146
	0.5	0.154	0.149	0.145	0.140	0.137	0.133
	0.6	0.136	0.133	0.129	0.126	0.123	0.120
1.0	0.1	0.270	0.266	0.226	0.209	0.195	0.182
	0.2	0.223	0.211	0.198	0.187	0.177	0.166
	0.3	0.199	0.191	0.173	0.165	0.157	0.150
	0.4	0.179	0.168	0.154	0.147	0.142	0.136
	0.5	0.166	0.162	0.157	0.152	0.147	0.143
	0.6	0.150	0.147	0.143	0.140	0.136	0.131

表-5 図-4 の荷重状態における正の最大スパン曲げモーメント $M_{c,y}$ (単位 P)

c/a	a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.195	0.189	0.119	0.099	0.086	0.077
	0.2	0.172	0.165	0.112	0.094	0.082	0.075
	0.3	0.154	0.145	0.106	0.090	0.078	0.071
	0.4	0.139	0.128	0.099	0.086	0.074	0.068
	0.5	0.125	0.115	0.092	0.079	0.070	0.063
	0.6	0.114	0.096	0.078	0.069	0.064	0.059
0.6	0.1	0.190	0.182	0.111	0.089	0.075	0.063
	0.2	0.158	0.151	0.106	0.088	0.077	0.069
	0.3	0.149	0.140	0.098	0.080	0.067	0.057
	0.4	0.134	0.110	0.092	0.077	0.062	0.053
	0.5	0.119	0.101	0.087	0.073	0.058	0.050
	0.6	0.108	0.089	0.080	0.068	0.054	0.046
0.8	0.1	0.193	0.186	0.114	0.092	0.077	0.063
	0.2	0.171	0.164	0.107	0.087	0.073	0.061
	0.3	0.152	0.142	0.101	0.082	0.068	0.057
	0.4	0.136	0.112	0.095	0.078	0.063	0.053
	0.5	0.121	0.102	0.088	0.074	0.059	0.049
	0.6	0.110	0.091	0.081	0.069	0.054	0.045
1.0	0.1	0.198	0.191	0.118	0.095	0.080	0.067
	0.2	0.176	0.169	0.111	0.090	0.076	0.064
	0.3	0.156	0.147	0.105	0.086	0.072	0.060
	0.4	0.140	0.116	0.098	0.082	0.067	0.056
	0.5	0.125	0.105	0.091	0.077	0.062	0.052
	0.6	0.114	0.093	0.083	0.070	0.057	0.048

表-6 図-4 の荷重状態における $M_{c,x}$ と $M_{c,y}$ の比

c/a	a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.81	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78
	0.2	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.77
	0.3	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.76
	0.4	0.78	0.78	0.78	0.75	0.75	0.74
	0.5	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73
	0.6	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72
0.6	0.1	0.80	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77
	0.2	0.78	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75
	0.3	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74
	0.4	0.75	0.75	0.74	0.73	0.73	0.72
	0.5	0.74	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71
	0.6	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.70
0.8	0.1	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77
	0.2	0.79	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76
	0.3	0.78	0.78	0.76	0.75	0.75	0.74
	0.4	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73
	0.5	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72
	0.6	0.71	0.71	0.71	0.70	0.70	0.70
1.0	0.1	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77
	0.2	0.80	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
	0.3	0.78	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75
	0.4	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74
	0.5	0.75	0.75	0.74	0.73	0.73	0.72
	0.6	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71	0.71

表-7 図-4 の荷重状態における $M_{c,y}/M_{c,x}$ の値

c/a	a_1/a	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.59	0.60	0.61	0.63	0.63	0.61
	0.2	0.61	0.60	0.63	0.64	0.64	0.63
	0.3	0.62	0.62	0.66	0.66	0.66	0.64
	0.4	0.63	0.64	0.67	0.67	0.67	0.65
	0.5	0.64	0.64	0.67	0.67	0.67	0.65
	0.6	0.65	0.65	0.67	0.67	0.67	0.65
0.6	0.1	0.64	0.62	0.64	0.67	0.63	0.60
	0.2	0.67	0.65	0.66	0.67	0.67	0.65
	0.3	0.67	0.66	0.69	0.69	0.69	0.67
	0.4	0.70	0.69	0.71	0.71	0.71	0.69
	0.5	0.70	0.69	0.71	0.71	0.71	0.69
	0.6	0.71	0.69	0.71	0.71	0.71	0.69
0.8	0.1	0.67	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67
	0.2	0.74	0.67	0.68	0.68	0.68	0.67
	0.3	0.76	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67
	0.4	0.78	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67
	0.5	0.77	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67
	0.6	0.80	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67
1.0	0.1	0.73	0.67	0.62	0.66	0.61	0.57
	0.2	0.77	0.66	0.66	0.69	0.63	0.59
	0.3	0.82	0.70	0.60	0.62	0.65	0.60
	0.4	0.84	0.72	0.64	0.65	0.65	0.60
	0.5	0.86	0.73	0.67	0.67	0.67	0.60
	0.6	0.88	0.73	0.70	0.68	0.67	0.60

4. 設計用支承曲げモーメントに関する考察

まず図-4のように e だけ離れて 2 個の輪荷重が
 ならば場合を考えよう。この 2 輪を 1 台の自動車の 2
 輪としてもよく(この場合 $e=1.75\text{m}$)、また相隣る
 2 車の内側にある 2 輪とみなしてもよろしい(この場
 合 $e=1.00\text{m}$)。後者の場合には図の両輪の外にさら
 にそれぞれの車の外側の 1 輪ずつ、あるいはさらに他
 の並んだ車の車輪があるはずであるが、これらは中央
 より相当はなれているので、一応無視することにする。
 また図-4の両輪を後輪とすれば、前輪が隣接ス
 パンの 2-3 の y 方向の中心線上にあるときに、 M_s
 は最大となる。前輪の分布巾は示方書 11 条、23 条に
 従えば、 a (図-4では a_1)が同一で、 b (図-4では
 b_1)が $1/2 \sim 1/3$ となる。表-3 よりわかるごとく、 a_1/a
 の同一値に対して、 b_1/a の値が $1/2 \sim 1/3$ となつても、
 M_s の値はせいぜい 10% 程度の増加にとどまる。し
 かも前後輪の荷重比は $1/4$ であるから、図-4におけ
 る支承 2-2 の M_s の最大値は、前後輪が丁度それぞ
 れ隣接するスパン 1-2、2-3 の y 方向の中心線に
 沿い、かつ 1 つの車の前後輪が x 方向の版の中心線に
 沿う場合に生ずる。この M_s の値は荷重比が $1/4$ であ
 るから、後輪重量を P として、表-2 の値の、
 $1.00 + 0.25(1 + 0.10) = 1.275 \div 1.3$ 倍とみなしてさしつか
 えない。前輪の位置が 2-3 スパンの中心線より少し
 ずれると、 M_s の最大値は上の計算値より小さくなる。
 このように考えると、 M_s のとり得べき最大値と $M_{0,x}$
 との比は表-8 のようになる。すなわち単純版の曲げ
 モーメントとの比は最大 70% 程度であり、慣用され
 ている 80% とは非常にかけはなれている。
 次に図-3のような荷重状態を一応考えよう。さて
 後輪が図-2のような分布荷重になるものとしても、
 前輪が同様の形の分布荷重になるとは限らない。しか
 し同様の分布荷重になるものとして、これら前後輪に

よる M_s の最大値を前と同様に表-1.1の値の1.3倍として、 M_s のとり得べき最大値と $M_{0,x}$ との比を求めると、表-1.2 のようになる。これによつても最大77%である(実際の自動車荷重でもつと小さいはずである)。

5. 設計用スパン曲げモーメントに対する考察

まず図-4のように2輪のみを考えよう。スパン1-2におけるスパン曲げモーメントを最大ならしめるのは、さらにスパン3-4の中心線に沿つて前輪がのる場合であるが、これの影響は前と異なり、連続梁の影響線よりわかるごとく、ごく小さく、また前輪重量は後輪の1/4であるので、無視してさしつかえなく、従つてこの場合のスパン曲げモーメント $M_{c,x}$ のとり得べき最大値はそのまゝ表-4で与えられ、 $M_{c,x}/M_{0,x}$ は表-6より得られる。この場合の $M_{c,x}$ は $M_{0,x}$ の70~80%、最高80%であり、 a_1/a の小さくなるに従つて大となり、 b_1/a の影響はあまりないことがわかる。従つて連続版のスパン曲げモーメントを一般的に単純版の曲げモーメントの80%をとるのは大きくとりすぎることになり、表-6を用いて a_1/a , b_1/a の値によつて、この比の適当な値をとるべきであろう。

次に図-3の荷重状態について考えよう。図-3の荷重を後輪とすれば、前と同様前輪の影響を無視して、図においてスパン1-2の最大スパン曲げモーメント $M_{c,x}$ と $M_{0,x}$ との比は、表-2.3のごとくなる。この場合は表-6の値より少し大きく、80%前後の値となつている。

6. 配力鉄筋の問題

連続版で最大スパン曲げモーメントを生ずる位置並びに荷重版態において、 $M_{c,y}/M_{c,x}$ を求めると表-7のとおりである。すなわち30~90%に広範囲に変化している。従つて1方向版において、配力鉄筋/主鉄筋を25%以上と規定しているのはやゝ小に失し、英(60%以下)米(50%以下)等の規定を参照して、再検討すべきであると思う。

7. むすび

主鉄筋が車輛の進行方向に平行な場合について、連続版の設計用曲げモーメント公式を次のように書くことができる。

支承曲げモーメント = $-k_1 \times$ 単純版曲げモーメント
 スパン曲げモーメント = $k_2 \times$ 単純版曲げモーメント
 こゝに単純版曲げモーメントとは理論的に求めた値(土木学会誌第36巻第10号、昭和26年10月参照)であつて、現行示方書(1939)に規定されている有効巾公式で求めたものではないことに注意されたい。

上式の k_1, k_2 は剛支承にて支えられ、辺長比を1/5とした4スパン連続版(辺長比1/5をとつたのは計算の便宜のため、かくすることにより、1方向版とみなし得る)の解析に従えば、

$$k_1 = 40 \sim 70\% \text{ (表-8より図-4に対し)}$$

$$\text{(表-1より図-3に対し)}$$

$$k_2 = 70 \sim 80\% \text{ (表-6より図-4に対し)}$$

$$75 \sim 86\% \text{ (表-2より図-3に対し)}$$

で与えられる。

従つてスパン曲げモーメントの場合に限り一般に用いている80%の値にかなり近い値が得られるが、これにきめてしまうのは妥当でなく、また支承曲げモーメントについては、根本的に異なる値となるので荷重分布の矩形巾に依じて、表-6あるいは8によつて係数を適当に選ぶべきである。

なお配力鉄筋の比についても再検討を要すると思う。

表-8 支承曲げモーメント M_s としてとり得べき最大値と $M_{0,x}$ との比

c/a	a ₁ /a	a ₁	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.4	0.1	0.45	0.47	0.49	0.51	0.52	0.52
	0.2	0.51	0.52	0.52	0.55	0.56	0.56
	0.3	0.56	0.57	0.59	0.59	0.59	0.59
	0.4	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.62
	0.5	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	0.6	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69
0.6	0.1	0.42	0.45	0.47	0.49	0.49	0.50
	0.2	0.48	0.50	0.51	0.52	0.52	0.52
	0.3	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.56
	0.4	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
	0.5	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	0.6	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.8	0.1	0.41	0.43	0.45	0.46	0.47	0.49
	0.2	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51
	0.3	0.51	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55
	0.4	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58
	0.5	0.61	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63
	0.6	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
1.0	0.1	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50
	0.2	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52	0.52
	0.3	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55
	0.4	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59
	0.5	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64
	0.6	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69

以上の計算には計算を簡単ならしめるため、相当大きな仮定も含まれているが、前著と合すると床版設計上なんらか参考になると思う。

(昭.26.8.13)