

IV-86 爆風圧等価静荷重による構造物の安定性

正員 ○岡 本 但 夫

正員 三 浦 行 政

日本大学 正員 木 田 哲 量

1. はじめに 原水爆の爆圧は極めて強大な圧力がごく短時間続いた後、時間とともに減衰する一過性の力で地震力のような振動性のものではない。都市施設が過密化し爆発する危険性のある施設が混在している大都市の現状からして、この種の爆圧反射力を土木工学における設計においても考慮すべき場合があると考え、これと同等な静力学的荷重に換算する。そして、この等価静荷重に対する構造物の安定性を検討することとする。ここでは前回報告（第39回、IV—172）の後の研究結果からして、より実際現象に近い等価静荷重 Q の換算法を提示する。

まず、 Q を算定する過程において前報告では、未定量 y 、 k の中の y （変形量）に適宜任意の値を与えて Q を計算した後、 y にどのような値を代入しても結局 Q の値は変わらないことを示したが、本報告では、まず、 $(y \times k)$ を求め、これからただちに Q を算出する方法とした。また、前報告では、

$$y = (Q/k) (1 - \cos \sqrt{k/w} t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

の極大値を、ただちに、 $y_{\max} = 2Q/k$ 、として Q の算出を行ったが、本報告では、 y が極大になる時間 t_m を以って、 Q の算出を行うこととした。

2. 等価静荷重 爆圧の等価静荷重 Q の一般式は、式（1）であり、それによる変形 y の一般式は次式（2）で与えられるので、これらの式の適用法について述べる。

$$y = C \cos \sqrt{k/w} t + D \sin \sqrt{k/w} t + p_2/k \times (t - t_2) / (t_1 - t_2) \quad \dots \dots \dots (2)$$

その適用例として、高さ（ $H = 40m$ ）が幅および奥行の2倍である鉄筋コンクリート建造物が爆心より3,000mの所にある場合を想定する。その際の基本的諸量は、サムエル・グラストーン著“原子力ハンドブック爆弾編”の公式および図表から次のように定めた。

大気圧 $p_0 = 10.33t/m^2$ 、尖頭超過圧力強度 $p = 8.54t/m^2$ 、動圧 $q = 2.1t/m^2$ 、第2期初頭圧力強度 $p_2 = p + q = 10.64t/m^2$ 、爆発による障害物によって起こる局所的異常高圧強度 $p_1 = 2p (7p_0 + 4p) / (7p_0 + p) = 22.49t/m^2$ 、爆発後 t_1 時間における圧力強度差 $p_1 - p_2 = 11.85t/m^2$ 、爆風の伝播速度 $U = C_0 (1 + 6p/7p_0)^{1/2} = 431.36t/m^2$ （ C_0 : 0℃における音速）、爆発による障害物によって起こった局所的異常高圧の継続時間 $t_1 = 3(H/2)/U = 0.0696sec$ 、爆圧が0になるまでに要する時間 $t_2 = 2.5sec$ 、時間差 $t_2 - t_1 = 2.4304sec$ 、建造物の固有振動周期 $T = 0.02H = 0.8sec$

これら諸量を用いて係数 Ck 、 Dk を求めることができる。

$$Ck = -p_1 + \frac{T}{2\pi} \left\{ \frac{p_1(t_1 - t_2) + p_2 t_2}{(t_1 - t_2)t_1} \right\} \sin \frac{2\pi t_1}{T} = -11.510$$

$$Dk = \frac{T}{2\pi} \left\{ \frac{p_1 - p_2}{t_1} - \frac{p_1(t_1 - t_2) + p_2 t_2}{(t_1 - t_2)t_1} \right\} \cos \frac{2\pi t_1}{T} = 3.6331$$

$$\phi = \tan^{-1}(-D/C) = 0.3057$$

また、式（2）から、変形の極大値 y_m およびこれに相当する時間 t_m を求める式が誘導される。

$$\left(\frac{2\pi}{T} \right) \left\{ \sqrt{(Ck)^2 + (Dk)^2} \sin \left(\frac{2\pi}{T} t_m + \phi \right) \right\} + \frac{p_2}{t_1 - t_2} = 0$$

$$(\therefore t_m = 0.355sec)$$

$$y_m \times k = Ck \cos \left(\frac{2\pi t_m}{T} \right) + Dk \sin \left(\frac{2\pi t_m}{T} \right) + \frac{p_2(t_m - t_2)}{(t_1 - t_2)} = 21.466$$

よって、これらの結果より、等価静荷重Qは次のように得られる。

$$Q = \gamma m \times k / (1 - \cos 2 \pi t m / T) = 11.062 t / m$$

3. 安全性の検討 一般に建造物の外辺には入口や窓などの開穴部があり、外壁自身も爆圧には耐えられず、爆風と共に粉碎崩落する場合が多い。しかし、建造物を構成している物体が被爆の際なお全体として静力学的に安定している場合には、これらを構成している物体は地上からのカンチレバーと考えられるので、その外辺部が破壊あるいは永久ひずみを生じて、その中立軸の付近は応力が小さいので弾性限界内に留まるはずである。すなわち、建造物のいずれかに安全な部分の存在が期待でき、その部分に安全性が十分に補強された避難室を設けることが可能となる。なお、本論文の基本仮定としてフックの法則に従う変形を仮定しているが、これは建造物全体の静力学的安定があって初めて可能なことであるので、その検討は意義あるものである。

先に求めた等価静荷重の状況における建造物の安定性の吟味を行うこととする。まず、爆風による水平力Hとそれによる転倒モーメントMfとを求める。

$$F = Q \times H = 11.062 \times 40 = 442.48 t, \quad M_f = F \times (H / 2) = 442.48 \times 20 = 8849.6 t \cdot m$$

これに対する抵抗力Rは、建造物の自重による摩擦抵抗力R₁、爆圧による上方からの有圧空気による摩擦力R₂、爆圧の回折による裏側から作用する力R₃の合計からなる。この場合の建造物重量Wは高さが40mであるから、10mに付き3層と仮定すると、天井と床面とを加算すると13層となるので、W = 251.68 t となる。また、建造物と地盤との摩擦係数 $\mu = 0.6$

表—1 H / L = 1.0 の場合

と仮定すると、

$$R_1 = W \times \mu = 151.01 t$$

となる。また、爆圧による有圧空気力Pは次式で与えられる。(ただし、L: 建造物横幅)

$$P = p (1 - t_m / t_2) \times L = 146.5 t$$

したがって、

$$R_2 = P \times \mu = 87.9 t$$

となる。さらに、

$$R_3 = p (1 - t_m / t_2) \times H = 293.2 t$$

であるので、水平抵抗力は、

$$R = 532.11 t (> 442.48 t = F)$$

となる。よって、水平抵抗力の方が爆風による水平作用力よりも大きいので安全である。

つぎに、建造物の抵抗モーメントMrは、各水平抵抗力によるものとして次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} M_r &= R_1 \times (L / 2) + R_2 \times (L / 2) \\ &+ R_3 \times (H / 2) = 9845.9 t \cdot m \\ &> 8849.6 t \cdot m = M_f \end{aligned}$$

よって、爆風による転倒作用に対しても安定であることが判明した。

4. 考 察 1メガトン水爆が起こす等価静荷重の大きさを爆発地点からの各種距離における値を建造物の高さ(=奥行)との比(H / L)による安定性について吟味した。

x (m)	Q (ton)	F (ton)	R (ton)	M f (tm)	M r (tm)
2 092	16.99	339.8	413.3	3 398	5 506
2 500	14.97	299.3	372.6	2 993	4 997
3 000	12.94	258.7	335.8	2 587	4 537
3 500	10.74	214.8	296.8	2 148	4 049
4 000	9.88	197.5	282.7	1 975	3 873
4 500	8.19	163.8	251.6	1 638	3 484
5 000	7.03	142.4	228.8	1 424	3 199
5 500	6.13	122.7	212.2	1 227	2 992
6 000	5.28	105.7	195.5	1 057	2 784
6 250	4.86	97.2	187.2	972	2 679

表—2 H / L = 2.5 の場合

x (m)	Q (ton)	F (ton)	R (ton)	M f (tm)	M r (tm)
2 092	13.77	688.6	746.7	17 215	16 213
2 500	12.25	612.7	681.0	15 318	14 670
3 000	10.65	532.6	620.8	13 315	13 267
3 500	8.86	442.7	555.9	11 068	11 752
4 000	8.12	405.8	533.4	10 145	11 226
4 500	6.73	336.4	481.3	8 410	10 005
5 000	5.80	290.0	442.7	7 250	9 104
5 500	5.04	252.1	414.8	6 278	8 450
6 000	4.34	217.0	386.4	5 425	7 786
6 250	4.00	199.8	372.0	4 995	7 451

表—3 H / L = 2.5, 窓占有率=20%かつ地下1階の場合

x (m)	Q (ton)	F (ton)	R (ton)	M f (tm)	M r (tm)
2 092	13.77	514.5	613.8	12 014	12 487
2 500	12.25	457.8	561.5	10 690	11 415
3 000	10.65	396.1	513.6	9 248	10 309
3 500	8.86	330.8	461.3	7 724	9 174
4 000	8.12	303.2	444.0	7 080	8 799
4 500	6.73	251.3	402.5	5 868	7 896
5 000	5.80	216.7	371.8	5 059	7 229
5 500	5.04	188.4	349.6	4 397	6 746
6 000	4.34	162.1	327.0	3 786	6 255
6 250	4.00	149.3	315.5	3 486	6 007