

III-47 爆破によるS波の発生機構について

関西大学工学部 正員 O谷口敬一郎

〃 〃 中野 正吉

〃 〃 岡野 征郎

〃 〃 新名 直子

1. 序

岩盤や地層の弾性的な性質を明らかにする目的で、最近S波を利用する測定法の研究が盛んになってきた。S波の波源として通常の発破を用いる場合は、一般にP波成分が優勢で、目的とするS波成分が小さいことから、板にたき法などによるS波の卓越法が賞用されている。しかし、この方法ではエネルギーの不十分さや立上り波形の不明確さなどから、観測上種々の限界を生じることが多い。

本研究では、S波の利用という立場から、発破孔やボーリング孔のような円柱孔において発破を行なうときの発震機構について、理論的な考察を進めた。従来、円柱孔における発破の研究では、簡単な波源のモデルについて実体波の性質が調べられているが、主として応力分布の型や、円柱孔の形状との関連性について論じているものが多い。しかし理論的に求められる実体波は媒質の弾性と密接な関係があり、しかも現実測定の対象となる地表付近においては、ポアソン比 $\nu = 0.25$ という条件はむしろまれであって、この点に関してとくに検討を加える必要があるように思われる。

2. 波源のモデル

Fig.1 に示すように、媒質中の任意の実Pを極座標 (r, θ, ϕ) で表われ、円柱孔は無限媒質の中に存在する中空で、その大きさは半径 a 、高さ $2b$ とする。

波源のモデルとしては、Fig.2 に示すような4つの型の応力分布を考えた。

Model (1) 円柱孔の側壁に、 $P = \phi(t) \cos(\pi z/2b)$ なる圧縮応力が軸対称的に作用し、両底面における応力は0と考えたものである。ただし、 $\phi(t)$ は時間関数で、 $-b \leq z \leq b$ である。

Model (2) 孔壁にずり応力、 $\tau = \psi(t) \sin(\pi z/2b)$ が作用し、底面では $P = \psi(t)$ の圧縮応力が作用するとしたものである。

Model (3) 孔壁ならびに両底面に圧縮応力が作用するとしたもので、その大きさを $P = \phi(t)/r^2$ とした。ただし、 $r^2 = z^2 + a^2$ である。

Model (4) 孔壁に上下対称の任意の圧縮応力が作用する場合で、このときは $P = \phi(t) \cdot g(z)$ および $g(z) = \int_0^\infty \varphi(k) \times \cos kz \, dk$ で表わすことができる。

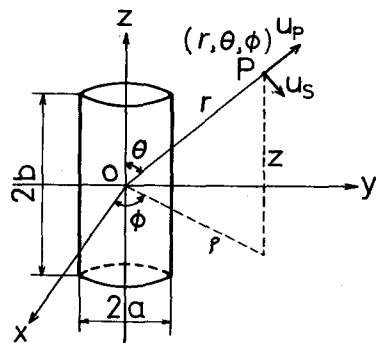


Fig.1 Coordinate system of Cylindrical hole

3. 解

Model (1)

このような問題に関してはすべて軸対称型であるので、

Fig.1の座標系を採用することにより、応力成分は ϕ に
 関しては無関係になる。円柱の中心Oから点P(r, θ, ϕ)
 が十分遠く、波の波長が波源の大きさに比べて十分大き
 いものとするれば、点Pにおける変位 u はつぎのように与
 えられる。

$$4\pi r u = \left\{ \rho^{\frac{1}{2}} / (\lambda + 2\mu)^{\frac{1}{2}} \right\} u_p + \left\{ \rho^{\frac{1}{2}} / \mu^{\frac{1}{2}} \right\} u_s \quad (1)$$

ここに、 ρ は媒質の密度、 λ, μ はLaméの定数であり、 u_p, u_s はFig.1に示してある方向の変位成分でP波な
 らびにSV波にはかならない。図の矢印の方向を正とし
 て、これらベクトルの絶対値を符号を含めて表せば、

$$\left. \begin{aligned} u_p &= 4a^2 b \left[\left\{ 1 + K_1(\pi/2c) \right\} \sin^2 \theta + \left\{ 2\nu/(1-2\nu) \right\} K_2(\pi/2c) \right] \times \dot{\phi}(t-r/v_p) \\ u_s &= 4a^2 b \left[\left\{ 1 + K_1(\pi/2c) \right\} \sin \theta \cdot \cos \theta \right] \dot{\phi}(t-r/v_s) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 $c = b/a$ (3)

$$K_1(x) = 2(1-\nu) I_1^2(x) / \{ x^2 + 2(1-\nu) I_1^2(x) - x^2 I_0^2(x) \} \quad (4)$$

で、 $I_0(x), I_1(x)$ は0次および1次の変形Bessel関数

$\dot{\phi}$ は ϕ の1階の時間微分、 v_p, v_s はP波ならびにS波の伝ば速度である。

Model (2)

$$\left. \begin{aligned} u_p &= 4a^2 b \left[\left\{ 4c/\pi + \pi/2 - K_2(\pi/2c) \right\} \cos^2 \theta + \left\{ 1/(1-2\nu) \right\} K_2(\pi/2c) \right] \dot{\phi}(t-r/v_p) \\ u_s &= 4a^2 b \left[\left\{ 4c/\pi + \pi/2 - K_2(\pi/2c) \right\} \sin \theta \cdot \cos \theta \right] \dot{\phi}(t-r/v_s) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ただし、

$$K_2(x) = \{ x \{ I_1^2(x) - I_0^2(x) \} + 2(1-\nu) I_1(x) I_0(x) \} / \{ x^2 \{ I_1^2(x) - I_0^2(x) \} + 2(1-\nu) I_1^2(x) \} \quad (6)$$

Model (3)

$$\left. \begin{aligned} u_p &= 2\pi a \left[\{ \tan^2 C + S_1 \} \sin^2 \theta + \{ C/(1+C^2) \} \cos^2 \theta + \left\{ 2\nu/(1-2\nu) \right\} S_1 \right] \dot{\phi}(t-r/v_p) \\ u_s &= 2\pi a \left[\{ \tan^2 C - C/(1+C^2) + S_1 \} \sin \theta \cdot \cos \theta \right] \dot{\phi}(t-r/v_s) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ただし

$$S_1 = \int_0^\infty K_1(x) e^{-x} (\sin \pi x / x) dx \quad (8)$$

Model (4)

$$\left. \begin{aligned} u_p &= 2\pi a^2 \{ (L+T) \sin^2 \theta + \left\{ 2\nu/(1-2\nu) \right\} T \} \dot{\phi}(t-r/v_p) \\ u_s &= 2\pi a^2 \{ (L+T) \sin \theta \cdot \cos \theta \} \dot{\phi}(t-r/v_s) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} L &= \int_0^\infty \mathcal{P}(k) (\sin \pi b/k) dk \\ T &= \int_0^\infty K_1(ka) \mathcal{P}(k) (\sin \pi b/k) dk \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

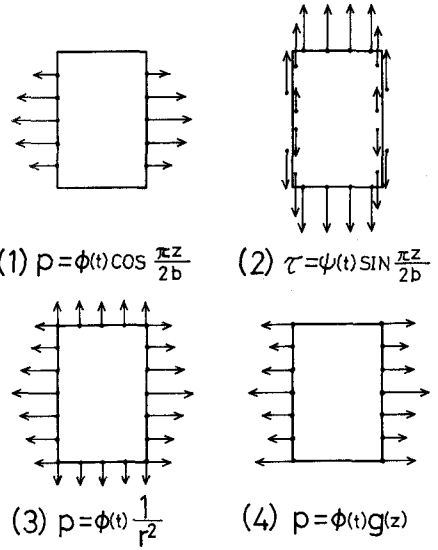


Fig.2 Four Models of Stress Distributions investigated in this Report