

44. Analogie des secousses sismiques aux mouvements de l'eau dans un bassin

par Mishio ISHIMOTO,

Institut de Recherches sur les Tremblements de terre.

(Lu le 19 Juin 1934, reçu le 17 Septembre 1934.)

L'invention du sismographe a permis constater l'existence du foyer au sein de la croûte terrestre, à partir duquel rayonnent les ondes sismiques. Quand les ondes sismiques arrivent à la surface terrestre, elles provoquent les secousses sismiques : on détecte naturellement ces dernières au moyen des appareils sismologiques. Evidemment, on constate la propriété de propagation des ondes sismiques seulement au moyen des phases distinctes observées dans les secousses : on note le commencement des secousses et les changements brusques d'amplitude comme les phases.

D'un autre côté, qu'est ce que l'on considère sur les autres ondes enregistrées par le sismographe ? On supposait autrefois que toutes les ondes possèdent également la propriété de propagation. A présent, cependant, il y a beaucoup de faits qui nous obligent à considérer la plupart des secousses enregistrées par le sismographe accélérométrique comme des ondes stationnaires. Nous résumons ici les raisons venant à l'appui de cette hypothèse :¹⁾

1° Quand nous examinons les inscriptions accélérométriques des secousses sismiques obtenues aux différentes stations, la période dans les secousses n'est pas généralement la même. Le changement de période n'est pas possible, autant que les ondes progressives forment une manifestation des secousses sismiques.

2° La période prédominante de chaque station dépend entièrement des conditions d'élasticité de la couche superficielle. A un endroit où les mesures donnent une grande valeur pour le paramètre d'élasticité on constatera que la période prédominante est petite et *vice versa*.

3° En comparant les deux inscriptions faits par le sismographe

1) L'auteur a déjà publié les faits ainsi que ses opinions dans les mémoires suivants : *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 316 ; 9 (1931), 473 ; 10 (1932), 171 ; 12 (1934), 234.

accélérométrique et le sismographe du type ordinaire, nous pouvons faire correspondre chaque onde une à une. Ce fait nous amène à constater que les secousses sont composées de mouvements sinusoïdaux : ceux-ci constituent aussi une preuve indirecte de l'oscillation propre de la couche superficielle.

4° L'accélération de la composante horizontale est toujours supérieure à celle de la composante verticale. Nous pouvons donc admettre que le mode d'oscillation de la couche dépend de l'effort de cisaillement du sol.²⁾

De ces raisons, nous pouvons conclure que les secousses principales observées dans l'inscription accélérométrique sont celles produites secondairement dans la couche superficielle. Elles ne conservent donc plus les caractéristiques des ondes sismiques envoyées du foyer qui se trouve au sein de la croûte terrestre. Nous poursuivrons donc nos discussions en considérant les secousses principales enregistrées par le sismographe accélérométrique comme les oscillations propres de la couche superficielle.

Nous avons déjà décrit ces considérations dans les mémoires précédents. Dans un des plus récents,³⁾ nous avons essayé de déterminer une règle sur la distribution du nombre des secousses en fonction de leurs amplitudes. La fonction obtenue était représentée par une courbe exponentielle. C'est certainement la conception inconsciente de cette propriété des secousses qui nous fait distinguer les secousses sismiques des autres. Pour reproduire les secousses sismiques avec un modèle, il est d'ailleurs nécessaire d'avoir une inscription qui fournira la même distribution en fonction des amplitudes. L'allure de l'amortissement des secousses sismiques n'est évidemment pas régulier comme celle que l'on observe dans les oscillations amorties d'un pendule. Mais, il existe une certaine règle qui décidera de la distribution des secousses en fonction des amplitudes. Nous voulons de plus reproduire au moyen de ce modèle l'apparition des ondes solitaires que nous constatons aussi dans les en-

2) Récemment, M. T. SAITA ainsi que M. W. INOUE, ont exécuté deux observations avec les sismographes accélérométriques dans deux puits ayant respectivement 24m et 9m de profondeur. En comparant les secousses à l'intérieur du puit à celles observées à la surface du sol, ils ont constaté le fait que la couche superficielle possède une période propre d'oscillation, (*Bull. Earthq. Res. Inst.*, 12 (1934), 517; *Disin* 6 (1934), 405) et que les oscillations de celle-ci constituent la majeure partie des secousses enregistrées par les sismographes. Ces résultats nous permettent de conclure d'une manière définitive qu'il y a un phénomène d'oscillation propre de couche superficielle dont les secousses ont un rapport étroit avec les dommages sismiques.

3) *loc. cit.*

registrements accélérométriques.⁴⁾

Pour déterminer la règle de distribution des amplitudes dans les secousses sismiques nous avons essayé de classer toutes les ondes suivant leur grandeur. Les exemples de courbes obtenus sont représentés dans la Fig. 3; les deux courbes *A* et *B* sont obtenues d'après les deux inscriptions correspondantes *A* et *B* dans la Fig. 2. Il y a un point figuré dans les courbes pour toutes les 5 valeurs de l'amplitude. De ces courbes, on comprendra tout de suite que l'amplitude diminue suivant une courbe exponentielle quand l'amplitude est petite, tandis qu'elle diminue d'une manière relativement rapide quand elle est grande. Cette allure de l'amortissement coïncide avec la règle que nous avons constatés dans un mémoire recent.

Or, il a une expérience sur la reproduction des secousses sismiques qui a été exécutée par le Prof. T. Terada et M. U. Nakaya.⁵⁾ Ils ont employé un pendule vertical dont la masse était bombardée par une chute de mitrailles. En tout cas, ils ont réussi à obtenir une inscription ressemblant en particulier à celles des secousses micro-sismiques.

Dans notre cas, cependant, nous avons pris un bassin rempli d'eau ayant 50×100 cm de largeur et 10 cm de profondeur. Les deux périodes fondamentales d'oscillation de l'eau ont donc pour valeur $1,2^s$ et $2,0^s$ environ. Naturellement, elles sont calculées suivant la formule $T = \frac{2l}{\sqrt{gh}}$. L'aspect général de l'installation d'expérience est représenté schématiquement dans Fig. 1. Un morceau du liège qui se trouve à la surface de

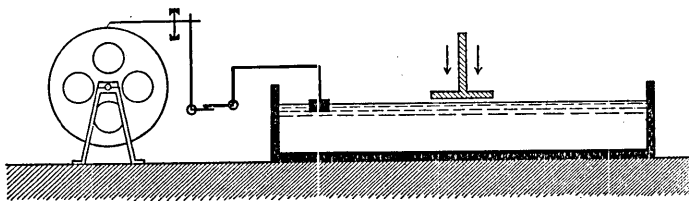


Fig. 1. Aspect général de l'installation expérimentale.

l'eau près d'un des bords suit les mouvements verticaux de l'eau. Le déplacement du liège est amplifié 5 fois au moyen d'une série de leviers. Nous attacherons une plume à l'extrémité du dernier levier afin d'enregistrer le mouvement du liège sur une papier enduit de noir de fumée. Naturellement, nous installons un amortisseur magnétique (non repré-

4) M. ISHIMOTO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 9 (1931), 159 et 473.

5) T. TERADA et U. NAKAYA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 5 (1928), 93.

senté dans la figure) dans le système de levier pour empêcher l'accroissement de l'oscillation propre de ce système. Quand nous ne l'employons pas, le mouvement de liège ne suit plus fidèlement le mouvement de l'eau. D'autre part nous n'enregistrons réellement que le mouvement de la composante verticale. Nous adoptons celle-ci parce que cette composante est comparativement facile à inscrire. Si nous choisissons une position convenable dans le bassin, le mouvement vertical de l'eau devient analogue à l'oscillation de la composante horizontale en une position quelconque.

Il y a plusieurs moyens d'agiter l'eau : premièrement nous avons fait incliner le bassin et revenir brusquement à la position initiale. Les inscriptions obtenues représentent des oscillations ressemblant à celles d'un pendule s'amortissant régulièrement suivant une courbe exponentielle. Ainsi, c'est une preuve que la diminution rapide d'amplitude à la partie supérieure de l'amplitude ne dépend pas de la grandeur.

Deuxièmement, nous avons donné sur l'eau presque au milieu de bassin deux ou trois perturbations avec la main. Cette fois-ci, nous avons obtenu des inscriptions analogues à celles des séismes. Deux exemples d'inscription sont représentés dans la Fig. 2. *C* et *D*. On pourra certainement constater que les secousses artificielles ressemblent beaucoup aux secousses naturelles. Il y a d'ailleurs des ondes solitaires parmi les secousses. Nous pouvons, donc, conclure que l'apparition de l'onde solitaire n'a pas beaucoup de signification ; son apparition est le simple résultat d'une superposition de phases de différentes périodes.

Pour savoir l'allure de l'amortissement des secousses artificielles, nous avons classé les ondes suivant leur amplitude. Voici deux exemples de courbes dans la Fig. 3, *C* et *D*. Nous pouvons constater que les secousses artificielles possèdent la même caractéristique que les secousses naturelles.

Considérons alors la cause de l'amortissement ; nous pouvons distinguer deux cas. L'existence de la viscosité de l'eau fait amortir les oscillations dans le bassin : mais il est impossible d'expliquer la diminution rapide de l'amplitude au début des oscillations.

Nous expliquerons ce fait par l'hypothèse que les secousses se diffusent dans le médium. En effet nous observons ce phénomène quand nous agitions seulement une portion de l'eau. L'énergie des ondes provoquée en une certaine région de l'eau diffusera ainsi partout dans le bassin et il y aura une diminution rapide d'amplitude des ondes pendant que la diffusion se progresse. Une fois la diffusion de l'énergie

achevée, leur amplitude s'amortira suivant la viscosité de l'eau. Il nous semble que la dernière portion de la courbe correspond au deuxième mode d'amortissement.

Pour expliquer la diminution d'amplitude des secousses naturelles, nous considérons simplement la diffusion des secousses dans la couche superficielle. Il nous semble qu'il n'est pas nécessaire de considérer la viscosité dans le solide qui fasse dissiper les oscillations. Quant à l'étude sur la diffusion des secousses sismiques, nous la remettrons à une prochaine occasion.

Nous pouvons dire, en tout cas, que les secousses sismiques sont représentées par le mouvement de l'eau dans un bassin : le terrain exécutera de oscillations au moment du tremblement de terre, comme l'eau dans le bassin.

Naturellement, l'eau dans le bassin possède plusieurs modes d'oscillation, soit les oscillations fondamentales, soit les oscillations harmoniques : toutes sont produites par l'existence de parois marginales. Dans la couche superficielle, cependant, il n'y a pas de paroi distincte : mais son épaisseur et sa rigidité détermineront plusieurs périodes propres d'oscillations et il n'y aura aucune nécessité d'imaginer de mur vertical pour produire les oscillations propres du sol.

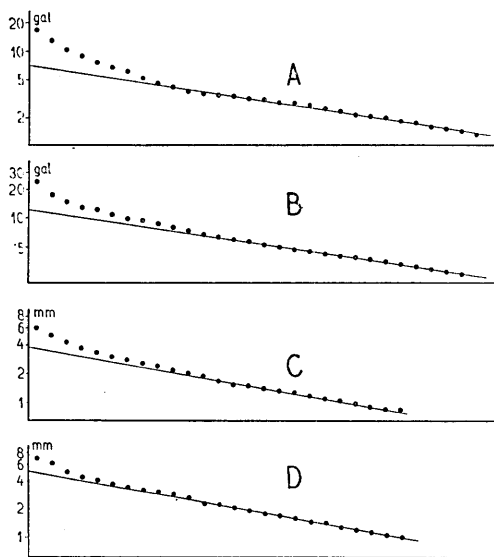
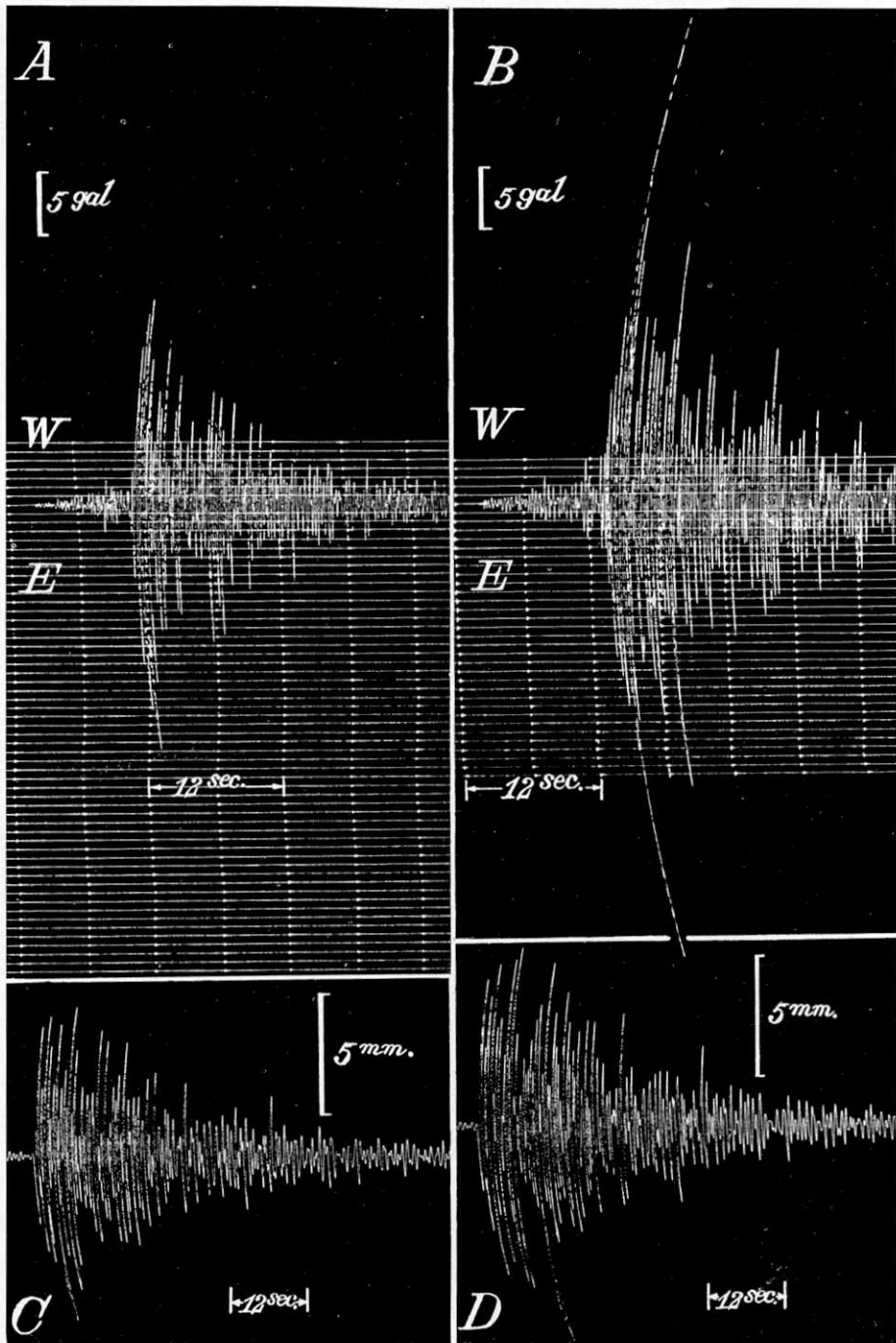


Fig. 3. Réarrangement des amplitudes de secousses sismiques et des oscillation d'eau dans un bassin : A—séisme du 7 Sept. 1931. (obs. à Hongô); B—séisme du 16 Sept. 1931 (obs. à Hongô); C et D—oscillations d'eau.



（震研彙報 第十二號 圖版 石本）

Fig. 2. Inscriptions des secousses sismiques et des mouvements d'eau dans un bassin :
 A—Séisme du 7 Sept. 1931 (obs. à Hongô),
 B—Séisme du 16 Sept. 1931 (obs. à Hongô),
 C et D—Oscillations d'eau.

44. 地震動と水槽内の水の運動との類似

地震研究所 石本巳四雄

加速度地震計を以て地震動を記録して見ると、其の中に認められる殆ど總ての波動は地表に存在する地層の自己振動の結果である事が最近多くの研究から證明されるに至つた。従つて此の現象を模型的に考へるならば、水槽内における水の運動と類似するものとして取扱ふ事が出来る。

著者は第 1 圖に示す装置を以て、1 個所の水の上下運動を記録して地震動と酷似した記象を得た(第 2 圖)。此の實驗により地震時における地面の振動は水槽内における水の振動の如き有様を呈すると想像される。

なほ此の實驗に於て水の振動が減衰する事實は其の粘性に起因するが、實際の地震動に於ては振動が表面に沿つて擴大する結果と考へられる。而して此の假定は大なる振幅が急激に減衰する事實其他を説明する事が出来る。
