

27. *Seismometrische Untersuchungen des Erdbebens vom
2. März 1933.*

II. *Analyse der in Californien beobachteten
Oberflächenwellen.*

Von Takeo MATUZAWA,

Institut für Erdbebenforschung.

(Vorgelegt 19. Feb. 1935.—Eingegangen 20. März, 1935.)

1. Elastizitätstheoretisch sind die Oberflächenwellen bisher ziemlich eingehend untersucht worden. Im Gegenteil sind Untersuchungen der beobachteten Erscheinung ganz mangelhaft, es sei denn dass es manche statistische Untersuchungen über Perioden und Fortpflanzungsgeschwindigkeit gibt.

Gelegentlich des oben genannten Japanbebens lieferten uns Stationen in Californien ihre schöne Aufzeichnungen, womit wir viele Eigenschaften der Oberflächenwellen experimentell ziemlich genau feststellen können haben. Fig. 1 zeigt die Verteilung der Stationen.

Dafür möchte ich hier nochmals Herrn H. O. Wood in Pasadena und Herrn Dr. P. Byerly danken.

2. Die Seismogramme der oben genannten Stationen zeigten meistens ganz schöne sinusartig andauernde Wellenzüge, die als Oberflächenwellen angedeutet werden können. (Fig. 2a, 2b, 2c.)

Instrumente für horizontale Komponente sind für alle Stationen von gleicher Konstruktion und zwar Wood-Anderson'sche kurzperiodische Seismographen mit Konstanten $V=2800$, $T=0.8$ Sek. und $h=0.8$. Vertikale Komponente ist vom Benioff'schen Instrument¹⁾ mit Mollmicro-galvanometer gezeichnet.

Der erste deutliche Einsatz des Wellenzuges ist z. B. in der N-S Komponente der Pasadena Aufzeichnung (kurz vor der 0 Marke in Fig. 2b.) klar ersichtlich. Die entsprechende Phase in Santa Barbara, Mt. Hamilton, und Berkeley liegt ausserhalb der Figur. Die durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit, nämlich die Herdentfernung ($74^{\circ}54'$) dividiert durch die Laufzeit (31 m 50 s ca.), ergibt sich zu ca. 4.4 Km/Sek. Die Periode dieser Phase ist ungefähr 19 Sek. Das ent-

1) H. BENIOFF, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 22 (1932), 155~169.

Vergrößerung ist ungefähr 2 mal A-Kurve in Fig. 8 derselben Mitteilung.

spricht der Dispersionskurve meiner früheren Arbeit.²⁾

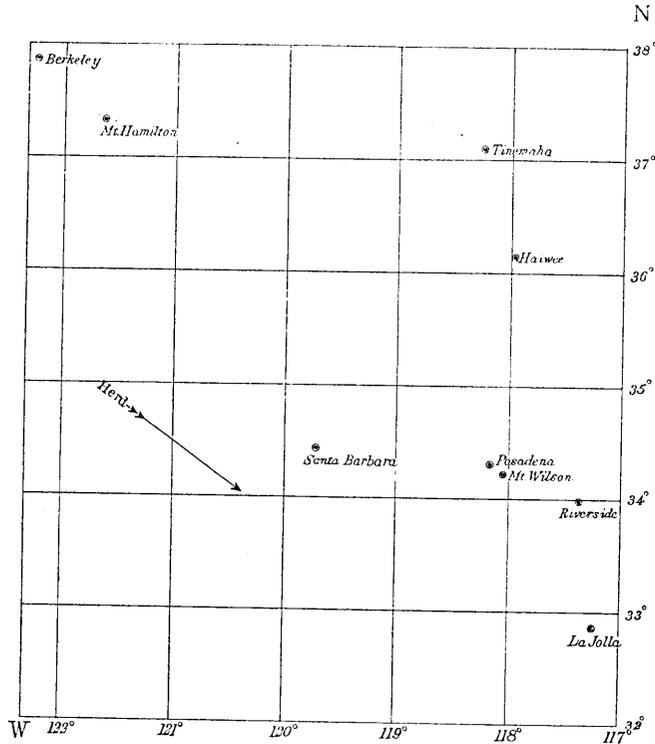


Fig. 1. Der Pfeil fliegt in der Richtung vom Herd nach aussen.

Ca. 3 Min. nach dem ersten Einsatz ist wieder ein ungefähr 2 Minuten gleichmässig andauernder Wellenzug auffällig eingetreten. Die Fortpflanzung dieses Wellenzuges ist in Fig. 2a, 2b, ganz deutlich ersichtlich. Einzelne Phase in der Gruppe ist auch ziemlich sicher identifizierbar von Station zu Station, und zwar Phasenverschiebung ist auch klar. Doch kann man bemerken, dass das Aussehen der Wellenform sich von Station zu Station allmählich ändert. Die E-W Komponente in Pasadena und Riverside (Fig. 2a) z. B. zeigt deutliche Veränderung der Wellenform. Nämlich, in Riverside ist die langperiodische Bewegung ganz ausgeprägter eingetreten als die kurzperiodische, indem in Pasadena das Gegenteil vorkommt. Die Kurve für Riverside erinnert uns an manche Gezeitenkurven mit halbtägigen und eintägigen Wellen. Im folgenden ist eben so wie bei der Gezeitenkurve die harmonische Analyse der Kurven von Santa Barbara, Pasadena, Mt. Wilson und La Jolla versucht.

2) T. MATUZAWA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 6 (1929), 223.

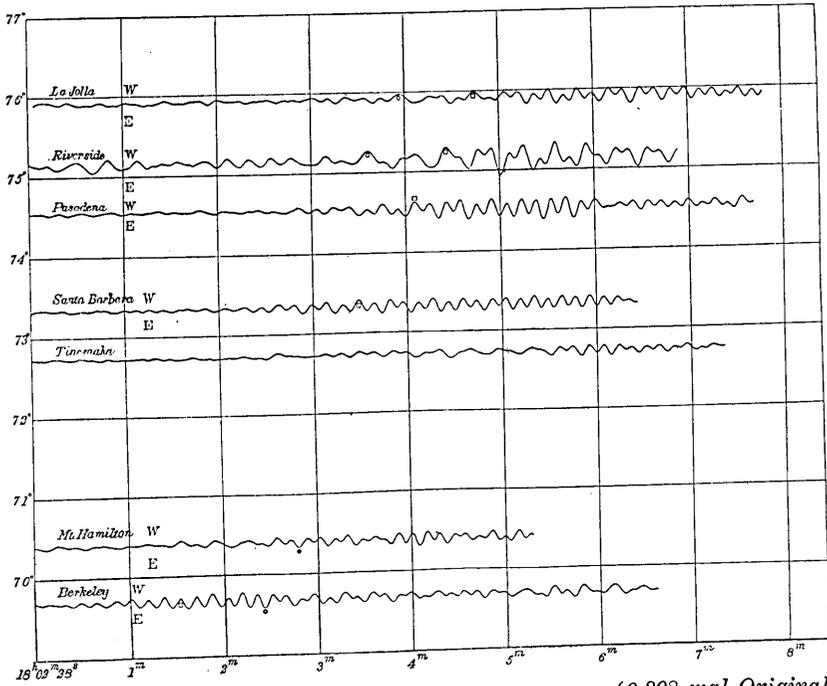


Fig. 2a. Die Ordinate zeigt die Herdentfernung der zugehörigen Stationen.

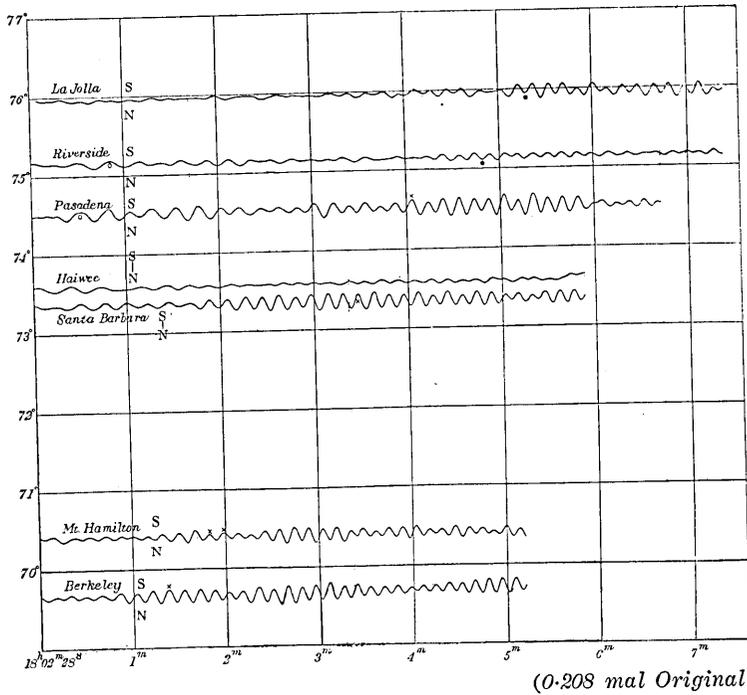


Fig. 2b. Die Ordinate zeigt die Entfernung der zugehörigen Stationen.

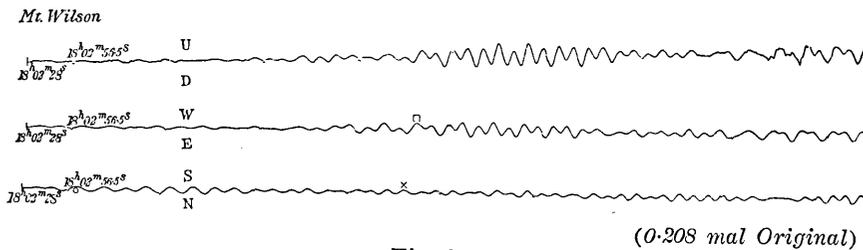


Fig. 2c.

3. Für harmonische Analyse muss man erst die Perioden der Bestandteile der Wellen auffinden. Die Periodogrammanalyse der oben erwähnten Wellengruppe hat zwei ausgeprägte Perioden gezeigt, d. s. ca. 20 Sek. und 9.5 Sek. Für die jetzige harmonische Analyse sind nur diese zwei Komponenten angenommen, die aber wesentliche Hauptbestandteile im Wellenzug sind.

Das Rechenverfahren ist wie folgt. Die gegebene Kurve wurde in die oben genannten zwei Komponenten abgetrennt eben so wie bei der Gezeitenanalyse. Dann ist jede Komponente je einzelt auf die wahre Bodenverschiebung reduziert worden, was theoretisch einwandfrei ist, weil jede Komponente bei allen Stufen der Reduktion algebraisch zusammensetzbar ist. Das endgültige Resultat ist in Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I.

$$X = A_1 \cos \frac{2\pi}{T} t + B_1 \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad Y = A_2 \cos \frac{2\pi}{T} t + B_2 \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

wo X, Y , Koodinaten des Bodenteilchens in Bezug auf die Hauptachsen der elliptischen Bahnkurve.

Station	Komponente	$\sqrt{A_1^2 + B_1^2}$	$\sqrt{A_2^2 + B_2^2}$	Richtung der grossen Achse	A_1	B_1	A_2	B_2
Santa Barbara	I (20 s)	0.239	0.066	N 48°40' W	0.229	-0.067	-0.0008	-0.0672
	II (9.5 s)	0.239	0.0099	N 36°30' E	-0.0594	-0.232	-0.0097	+0.0025
Pasadena	I	0.359	0.143	N 51°55' W	-0.351	-0.079	-0.0015	+0.014
	II	0.129	0.274	N 40°30' E	-0.095	-0.088	-0.188	+0.199
Mt. Wilson	I Vertikal	0.233	0.0228 0.29	N 63°30' W 27°55' vom Vertikal	-0.203	-0.114	-0.0112 +0.220	+0.228 -0.189
	II Vertikal	0.129	0.024 0.108	N 76°55' E 50°35' vom Vertikal	-0.0963	-0.085	-0.0161 +0.104	+0.0178 +0.0306
La Jolla	I	0.435	0.0129	N 59°40' W	+0.050	-0.433	+0.0129	+0.001
	II	0.181	0.045	N 64°30' E	-0.093	-0.155	+0.039	-0.024

Die Bahnkurve der betreffenden Bodenteilchen sind in Fig. 3, 4, 5a, 5b, 5c und Fig. 6 gezeigt.

Die Bewegung mit der Periode zu 20 Sek. liegt hauptsächlich in der Richtung vom Herd zu Station, indem die Bewegung zu 9.5 Periode senkrecht dazu steht, d. h. die langperiodische Bewegung hat eine Eigenschaft von der Rayleigh'schen Welle und die kurzperiodische die von der Love'sche Welle. In Fig. 5b sieht man die Bahnkurve für die langperiodische Bewegung in der vertikalebene durch die grosse Achse auf Mt. Wilson. Obgleich die grosse Achse bischen vom Vertikal geneigt ist, zeigt die Bewegung hier auch eine wesentliche Eigenschaft der Rayleigh'schen Welle, nämlich, Bodenteilchen bewegt sich im Wellengipfel nach dem Herd und im Wellental vom Herd. Die durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist ungefähr 4.0 Km/Sek, die wieder der transpazifische M-Wellen meiner früheren Arbeit³⁾ entspricht. Fig. 5c zeigt die Bahnkurve der kurzperiodischen Bewegung in der Vertikalebene durch die grosse Achse. Die Neigung der grossen Achse ist ca. 39° 25', nämlich, die Größenordnung der Vertikalbewegung ist ungefähr dasselbe wie bei der Horizontalbewegung. Die Love'sche Welle in horizontal geschichtetem Mittel muss theoretisch keine Vertikalbewegung zeigen. In Wirklichkeit ist aber die Krustenstruktur im oberen Teil der Erde nicht nur senkrecht geschichtet son-

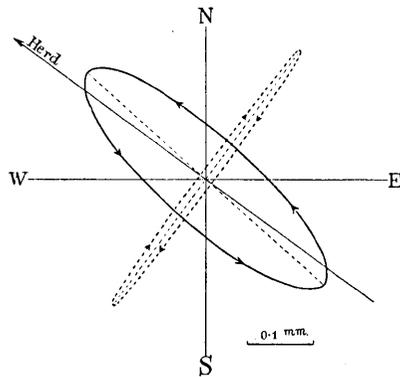


Fig. 3. Ausgezogene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 20 Sek. Gestrichene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 9.5 Sek. Santa Barbara.

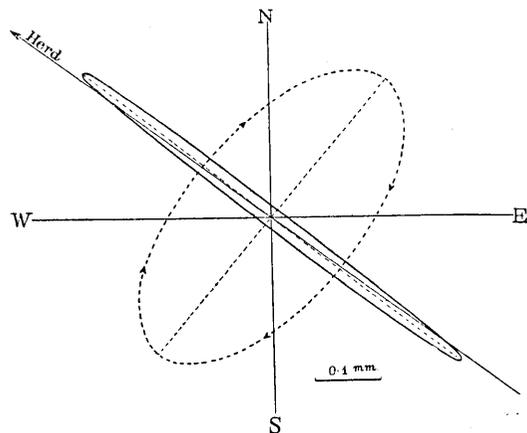


Fig. 4. Ausgezogene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 20 Sek. Gestrichene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 9.5 Sek. Pasadena.

3) T. MATUZAWA, *l. c.*

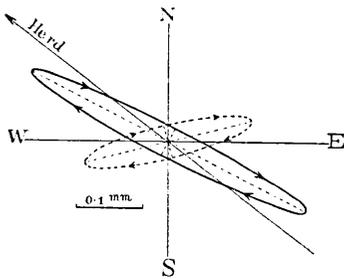


Fig. 5a. Ausgezogene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 20 Sek. Gestrichene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 9.5 Sek.

Mt. Wilson.

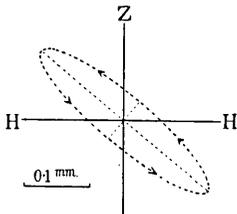


Fig. 5c. Bahnkurve mit der Periode zu 9.5 Sek. in der Vertikalebene durch die grosse Achse.

Mt. Wilson.

dern auch horizontal mosaikartig. Darum kann resonanzartige Erscheinung in einem gewissen Teil der Erde stattfinden, was schon experimentell manchmal beobachtet worden ist. Wenn ein Zug der Love'sche Welle in solchen resonanzfähigen Teil eintritt, dann muss der Wellencharakter einigermaßen verändert werden und Vertikalkomponente kann auch entstehen.

Wir sehen in den Figuren der Bahnkurve, dass die Amplitude sich von Station zu Station ziemlich ändert. In Fig. 2a, 2b kann man

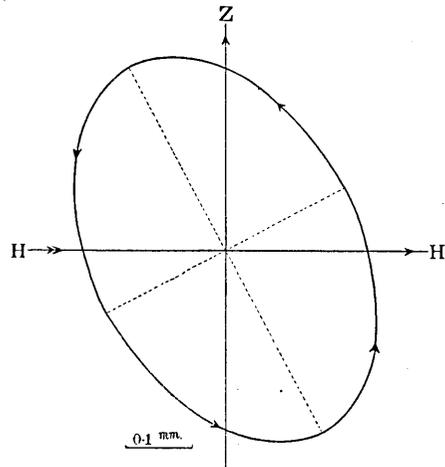


Fig. 5b. Bahnkurve mit der Periode zu 20 Sek. in der Vertikalebene durch die grosse Achse. Der Pfeil H → H fliegt vom Herd nach aussen.

Mt. Wilson.

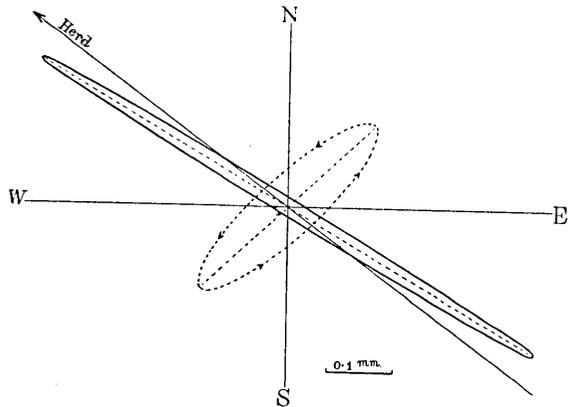


Fig. 6. Ausgezogene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 20 Sek. Gestrichene Kurve ist die Bahnkurve mit der Periode zu 9.5 Sek.

La Jolla.

auch Deformation der Wellenform von Ort zu Ort sehen. In Tinemaha und Haiwee, nämlich in küstenfernen Stationen ist die Entwicklung der kurzperiodischen Bewegungen untergeordneter als die der langperiodischen. Wenn man Seismogramme von Pasadena mit den von Mt. Wilson oder Aufzeichnungen von Berkeley mit den von Mt. Hamilton vergleicht, kann man auch dieselbe Erscheinung sehen.

Die oben erwähnten Tatsachen kurz zusammenfassend, kann man die folgenden zwei Punkte bestätigen; (a) Der Wellenzug, der aus zwei Arten Oberflächenwellen besteht, pflanzt sich von Ort zu Ort fort; (b) Während seiner Fortpflanzung unterliegt er Deformationen der Wellenform.

In Fig. 8 im „Seismological Report of the Earthquake Research Institute, Tokyo Imperial University 1933 Part 1“ sehen wir manche ziemlich andauernde Wellenzüge mit Perioden ca. 20 Sek. und ca. 10 Sek. Wegen der Dispersion muss theoretisch eine einsame Oberflächenwelle im Herdgebiet während ihrer Fortpflanzung auch in andauernden Wellenzug übergehen.⁴⁾ Aber im jetzigen Falle finden wir in der Herdnahe auch ausgeprägte Wellenzüge mit dergleichen Perioden. Das mag sicher der Hauptgrund sein, dass Wir in so fernen Stationen auch schön andauernde ausgeprägte Wellenzüge beobachten konnten. Sonst sollte die Amplitude erheblich kleiner sein, weil die Energie einer einsamen Welle während der Fortpflanzung im ganzen Intervall der Dispersion sich verteilen müsste.

4) K. SEZAWA und G. NISHIMURA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 8 (1930), 330-335.

27. 昭和8年3月3日の地震

(其2) カリフォルニアで観測された表面波

地震研究所 松澤武雄

カリフォルニアの諸観測所の地震記象に於ては、表面波に相當する部分に於て見事に續いた簡單な振動の群が現れた。表面波の現はれ始めに近い一つの群について解析を試みた。波群は變形を受けながら傳はつてゐる。波が震央から傳つたものだから太平洋の底に對する分散曲線の上にある。