™°²üt‹þ }†ö·ÿê °ö™ö±™ü þ ‹† ™¶}×†–û™² ¶±Î • íõž ‹±°þ

"íÇ†é†ÏÙíõ°–ÿ ›ñõŽ{ö±™ò"

{†ïÇÙ}ö–ôüó:Ô±Ž™é ù Î·Ö±ÿé™¶}†–ü†° hûø»Ö–û íùñ–¶þ ``ö{Ö½ÿ ý hûø»ãtû

°ôˆ‹ù–‹ÿ±™é–™ö»ãtû †°°ñt¶¶ þ ™°–íùñ–¶þ Î ì±™ò –™ö»ãtû ²™²™¶çí íþé™ô¤™–Îéõï ô{¥ÙÿÙ†–

íÿ¥ì–þ»†ô°²‹©»†ü¼é¤†°°ñt ² ²íÿó °ñt¶¶ þ íùñ–¶þ hûø»Ö–û íùñ–¶þ ``ö{Ö½ÿ ý hûø»ãtû

1- Ÿø½–Ö

íÛ†ü·ù‹†¶¶±²íÿ¥ÿ¼ö®™¶}†ö–™°–™ö¶¶±™¤ê íùüüü

الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

٣- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

٤- الأشكال المرونة والتشوه

$$G_{max} = \rho V_s^2 \qquad (٤)$$

حيث G_{max} هو المعامل المرونة القصوى، ρ هو الكثافة، V_s هو سرعة الموجة القصوى.

٥- الأشكال المرونة والتشوه

المعامل	الوحدة	الرمز
الكثافة	كغ/م³	ρ
سرعة الموجة القصوى	م/ث	V_s
المعامل المرونة القصوى	ميغاباسكال	G_{max}

٦- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

٧- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

٨- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

٩- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

١٠- الأشكال المرونة والتشوه

- الأشكال المرونة والتشوه

۳- مدل‌های ساده شده برای تخمین پتانسایل روانگرایی

• مدل‌های ساده شده مبتنی بر تنش برشی چرخه‌ای

مدل‌های ساده شده مبتنی بر تنش برشی چرخه‌ای در مقایسه با مدل‌های پیچیده‌تر، از دقت کمتری برخوردارند اما به دلیل سادگی و سرعت محاسبه، در مطالعات اولیه و بررسی‌های کلی پتانسیل روانگرایی کاربرد فراوانی دارند. در این مدل‌ها، تنش برشی چرخه‌ای ناشی از زلزله با تنش برشی مقاومت خاک مقایسه می‌شود و نسبت تنش چرخه‌ای (CSR) به عنوان شاخص اصلی ارزیابی پتانسیل روانگرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه زیر نحوه محاسبه CSR را نشان می‌دهد:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65\left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\right)\times r_d \qquad (2)$$

که در آن τ_{av} تنش برشی متوسط، a_{max} شتاب حداکثر زلزله، g شتاب ثقل، σ_v تنش قائم کل، σ'_v تنش قائم موثر و r_d ضریب کاهش تنش است. ضریب r_d برای عمق‌های مختلف از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_d = 1 - 0.0126z + 0.0000z^2 \qquad (3)$$

که در آن z عمق به متر است. برای اصلاح CSR به منظور در نظر گرفتن اثر تنش قائم موثر، از ضریب اصلاح C_{σ} استفاده می‌شود:

$$C_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_v}{p_a}\right)^{0.25} \qquad (4)$$

که در آن p_a فشار اتمسفر (۱۰۰ کیلوپاسکال) است. در نهایت، CSR اصلاح شده برای تنش قائم موثر برابر است با:

$$CSR_{1} = CSR \times C_{\sigma} \qquad (5)$$

• مدل‌های پیچیده‌تر

مدل‌های پیچیده‌تر شامل مدل‌های المان محدود و مدل‌های رفتاری چندمحوره خاک هستند که قادرند رفتار خاک در شرایط بارگذاری چرخه‌ای را با دقت بیشتری شبیه‌سازی کنند. این مدل‌ها نیازمند داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی بیشتری برای کالیبراسیون هستند و زمان محاسبه بیشتری دارند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های PM4Sand، PM4Silt، UBC3D-PLM و مدل‌های مبتنی بر تنش مؤثر اشاره کرد. انتخاب مدل مناسب به هدف مطالعه، داده‌های در دسترس و دقت مورد نیاز بستگی دارد.

۴- مطالعه موردی: پل ورسک

پل ورسک در کیلومتر ۱۲۵ محور تهران-چالوس واقع است و دهانه اصلی آن به طول ۱۲۰ متر دارای سازه فولادی از نوع قوس با عرشه میانی است. این پل در سال ۱۳۵۴ ساخته شده و در زلزله ۱۳۶۹ رودبار دچار خسارت جزئی شد. در این مطالعه، پتانسیل روانگرایی در محل پایه‌های پل با استفاده از روش ساده شده مبتنی بر تنش برشی چرخه‌ای ارزیابی شد. داده‌های مورد استفاده شامل نتایج حفاری‌ها، آزمایش‌های SPT و CPT و آزمایش‌های آزمایشگاهی نمونه‌های دست‌نخورده است. شتاب حداکثر زلزله در محل پل برابر ۰.۳۵g برای زلزله با دوره بازگشت ۲۵۰ سال برآورد شد.

• مشخصات خاک محل پل

لایه‌های خاک محل پل شامل ماسه ریزدانه تا متوسط با تراکم متوسط تا کم است. سطح آب زیرزمینی در عمق ۳.۵ متر قرار دارد. مشخصات لایه‌ها شامل وزن مخصوص، تنش قائم موثر، تنش برشی متوسط و ضریب r_d در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار CSR محاسبه شده برای هر لایه با استفاده از روابط ۲ تا ۵ محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که CSR در لایه‌های سطحی بیشتر است و با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

• ارزیابی پتانسیل روانگرایی

مقاومت چرخه‌ای خاک (CRR) برای هر لایه از روابط تجربی مبتنی بر نتایج SPT و CPT محاسبه شد. نسبت ایمنی (FS) برابر نسبت CRR به CSR است. مقدار FS کمتر از ۱ نشان‌دهنده پتانسیل روانگرایی است. نتایج نشان می‌دهد که در لایه‌های سطحی FS کمتر از ۱ است و پتانسیل روانگرایی وجود دارد. با افزایش عمق، FS افزایش می‌یابد و در عمق‌های بیشتر از ۱۰ متر، FS بزرگتر از ۱ است و پتانسیل روانگرایی کاهش می‌یابد.

• تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که پارامترهای ورودی مدل شامل شتاب حداکثر زلزله، تنش قائم موثر و ضریب r_d بیشترین تأثیر را بر نتایج دارند. تغییر شتاب حداکثر زلزله به میزان ۱۰٪ تغییر قابل توجهی در CSR ایجاد می‌کند. تغییر تنش قائم موثر نیز تأثیر قابل توجهی بر CSR دارد. تغییر ضریب r_d تأثیر کمتری دارد. این نتایج نشان می‌دهد که دقت ارزیابی پتانسیل روانگرایی به دقت داده‌های ورودی بستگی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پتانسیل روانگرایی پل ورسک با استفاده از روش ساده شده مبتنی بر تنش برشی چرخه‌ای ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که در لایه‌های سطحی پتانسیل روانگرایی وجود دارد و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. مقدار CSR در لایه‌های سطحی بیشتر است و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. مقدار FS کمتر از ۱ در لایه‌های سطحی نشان‌دهنده پتانسیل روانگرایی است. با افزایش عمق، FS افزایش می‌یابد و در عمق‌های بیشتر از ۱۰ متر، FS بزرگتر از ۱ است و پتانسیل روانگرایی کاهش می‌یابد. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که پارامترهای ورودی مدل شامل شتاب حداکثر زلزله، تنش قائم موثر و ضریب r_d بیشترین تأثیر را بر نتایج دارند. تغییر شتاب حداکثر زلزله به میزان ۱۰٪ تغییر قابل توجهی در CSR ایجاد می‌کند. تغییر تنش قائم موثر نیز تأثیر قابل توجهی بر CSR دارد. تغییر ضریب r_d تأثیر کمتری دارد. این نتایج نشان می‌دهد که دقت ارزیابی پتانسیل روانگرایی به دقت داده‌های ورودی بستگی دارد.

۶- مراجع

[1] Seed, H. B., Idriss, I. M., Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, 97(9), 1971.

[2] Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R. M., Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, J. Geotech. Eng., ASCE, 111(12), 1985.

[3] Boulanger, R. W., Idriss, I. M., CPT and SPT based liquefaction triggering procedures, Report No. UCD/CGM-14/01, 2014.

[4] Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER workshops, J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE, 127(10), 2001.

[5] Boulanger, R. W., Ziotopoulou, K., PM4Sand (Version 3.1): A sand plasticity model for earthquake engineering applications, Report No. UCD/CGM-15/01, 2015.

[6] Dobry, R., Ladd, R. S., Yokel, F. Y., Chung, R. M., Prediction of pore water pressure buildup and liquefaction of sands during earthquakes by the cyclic strain method, NBS Building Science Series 138, 1982.

[7] Ishihara, K., Tsuchiya, H., Huang, Y., Kamada, K., Recent studies on liquefaction resistance of sand, Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 1981.

شکل (۶): مقایسه منحنی‌های مقاومت تناوبی (CRR) برای زلزله‌های با بزرگای ۷/۵ ریشتر

ضریب مقیاس بزرگی (MSF) برای زلزله‌های با بزرگای غیر ۷/۵ ریشتر، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^n \qquad (۵)$$

که در آن M_w بزرگای زلزله و n پارامتر مقیاس بزرگی است که مقدار آن بستگی به روش ارزیابی روانگرایی دارد. برای روش‌های مبتنی بر آزمایش صحرایی، n برابر ۲/۵ و برای روش‌های مبتنی بر آزمایش آزمایشگاهی، n برابر ۳/۳ پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه، مقدار n برابر ۲/۵ در نظر گرفته شده است.

شکل (۷): مقایسه نتایج مطالعه حاضر با داده‌های آندروس و استوک (۱۹۹۷) برای زلزله‌های با بزرگای ۷/۵ ریشتر

۴- ارزیابی روانگرایی

در این مطالعه، ارزیابی روانگرایی با استفاده از روش مبتنی بر آزمایش صحرایی سرعت موج برشی انجام شده است. در این روش، مقاومت تناوبی خاک (CRR) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CRR = \left\{a\left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + b\left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*}\right)\right\} MSF \qquad (۶)$$

که در آن V_{s1} سرعت موج برشی اصلاح شده و V_{s1}^* حد بالای سرعت موج برشی است که بستگی به درصد ریزدانه (FC) دارد. مقادیر a و b برای زلزله‌های با بزرگای ۷/۵ ریشتر برابر ۰/۰۲۲ و ۲۷۰۰ است. برای زلزله‌های با بزرگای غیر ۷/۵ ریشتر، مقدار a برابر ۰/۰۲۲ و b برابر ۲۷۰۰ × MSF است.

V_{s1}^* به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{s1}^* = 200 m/s \qquad FC \geq 35\%$$

$$V_{s1}^* = 215 - 0/5\,(FC - 5) m/s \qquad 5\% < FC \leq 20\%$$

$$V_{s1}^* = 215 m/s \qquad FC \leq 5\%$$

شکل (۸): مقایسه نتایج مطالعه حاضر با داده‌های آندروس و استوک (۱۹۹۷) برای زلزله‌های با بزرگای غیر ۷/۵ ریشتر

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ارزیابی روانگرایی با استفاده از روش مبتنی بر آزمایش صحرایی سرعت موج برشی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش مبتنی بر سرعت موج برشی اصلاح شده، روش مناسبی برای ارزیابی روانگرایی است. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با داده‌های آندروس و استوک (۱۹۹۷) برای زلزله‌های با بزرگای ۷/۵ ریشتر و غیر ۷/۵ ریشتر نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در این مطالعه، دقت مناسبی دارد. با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، روش پیشنهادی در سایر مناطق و با داده‌های بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرد.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \qquad (7)$$

که در آن:

$$CRR = \left\{ a\left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + b\left(\frac{1}{V_{s1}^* - CV_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*}\right)\right\} MSF \qquad (8)$$

که در آن V_{s1} سرعت موج برشی اصلاح شده (m/s) و V_{s1}^* حد بالای سرعت موج برشی اصلاح شده (m/s) است که برای ماسه‌های تمیز برابر ۲۱۵ m/s است. CV_{s1} حد پایین سرعت موج برشی اصلاح شده (m/s) است که برای ماسه‌های تمیز برابر ۱۸۰ m/s است. a و b ضرایب منحنی مرز روانگرایی هستند که برای ماسه‌های تمیز برابر $a = 0.022$ و $b = 2.8$ است. MSF ضریب مقیاس بزرگی است که برای زلزله‌های با بزرگی ۷.۵ ریشتر برابر ۱ است.

۳-۴- مرز روانگرایی

با داشتن FS و CRR می‌توان CSR را محاسبه کرد. CSR نسبت تنش برشی متقارن معادل به تنش قائم موثر است. CSR را می‌توان برای هر زلزله‌ای با بزرگی ۷.۵ ریشتر به شتاب بیشینه افقی سطح زمین (a_{max}) مربوط کرد. در شکل ۴ مرز روانگرایی برای ماسه‌های تمیز با $FS = 1$ رسم شده است. در این شکل محور افقی سرعت موج برشی اصلاح شده (m/s) و محور عمودی CRR و CSR است. نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده در این مطالعه نیز روی نمودار نشان داده شده‌اند. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، مرز روانگرایی به خوبی نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده را از هم جدا می‌کند. برای $FS > 1$ مرز روانگرایی به سمت راست و بالا منتقل می‌شود و برای $FS < 1$ مرز روانگرایی به سمت چپ و پایین منتقل می‌شود. برای $FS = 1$ مرز روانگرایی منطبق بر مرز روانگرایی گزارش شده است. در شکل ۴ نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده در این مطالعه نیز روی نمودار نشان داده شده‌اند. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، مرز روانگرایی به خوبی نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده را از هم جدا می‌کند. برای $FS > 1$ مرز روانگرایی به سمت راست و بالا منتقل می‌شود و برای $FS < 1$ مرز روانگرایی به سمت چپ و پایین منتقل می‌شود. برای $FS = 1$ مرز روانگرایی منطبق بر مرز روانگرایی گزارش شده است. در شکل ۴ نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده در این مطالعه نیز روی نمودار نشان داده شده‌اند. همان‌طور که از شکل ۴ مشاهده می‌شود، مرز روانگرایی به خوبی نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده را از هم جدا می‌کند. برای $FS > 1$ مرز روانگرایی به سمت راست و بالا منتقل می‌شود و برای $FS < 1$ مرز روانگرایی به سمت چپ و پایین منتقل می‌شود. برای $FS = 1$ مرز روانگرایی منطبق بر مرز روانگرایی گزارش شده است.

شکل ۴: مرز روانگرایی برای ماسه‌های تمیز با $FS = 1$ و نقاط روانگرایی و بدون روانگرایی گزارش شده در این مطالعه

شکل ۴: نقشه پهنه‌بندی خاک منطقه مورد مطالعه

$$CRR = \begin{cases} 0.0882\sqrt{\dfrac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.225\log\left(\dfrac{0.35}{D_{50}}\right) & 0.02 < D_{50} < 0.6 \\ 0.0882\sqrt{\dfrac{N}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05 & 0.6 < D_{50} < 2 \end{cases} \quad (8)$$

که در آن D_{50} قطر متوسط ذرات بر حسب میلی‌متر است. σ'_v تنش قائم مؤثر بر حسب کیلوپاسکال و N تعداد ضربات اصلاح‌شده SPT است. در محدوده $0.02 < D_{50} < 0.6$ رابطه اول و در محدوده $0.6 < D_{50} < 2$ رابطه دوم به کار رفته است.

در مطالعات ارزیابی خطر روانگرایی، مقدار نسبت تنش چرخه‌ای (CSR) برای زلزله طراحی با شتاب حداکثر ۰.۳۵g و بزرگای ۶.۵ برای هر نقطه محاسبه شد. سپس نسبت ایمنی (FS) از تقسیم CRR بر CSR به دست آمد. مقادیر FS کمتر از ۱ نشان‌دهنده پتانسیل روانگرایی است. نتایج نشان می‌دهد که در بخش‌هایی از منطقه با سطح آب زیرزمینی بالا و خاک ماسه‌ای سست، مقدار FS به کمتر از ۰.۷ می‌رسد و این مناطق به عنوان پهنه پرخطر روانگرایی معرفی می‌شوند.

১–৬৫)।(:১৮৮·৬৮৮) ৪V৬ TPS–৭৪৮৬৬৬৮ ৩ ৮৮৫৮৮

| ৩৮৮৬৬ | ৮৮৮৬৬৬

۵- مراجع

1.Seed, H.B., and Idriss, I. M.(1991), Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential , J. of the Soil Mechanics and Found. Div., ASCE, Vol. 97, SM9, pp.1249 - 1273.

2.Dobry, R., Stokoe, K.H., II, Ladd, R. S., and Youd, T.L. (1981), "Liquefaction Susceptibility from S - Wave Velocity", Proc. In Situ Tests to Evaluate Liquefaction Susceptibility, ASCE Nat. Convention, Held 27 Oct., St. Louis, MO.

3.Dobry, R., Ladd, R.S. Yokel, F.Y., Chung, R. M., Powell, D. (1982), Prediction of Pore Water Pressure Buildup and Liquefaction of Sands During Earthquakes by the Cyclic Strain Method , NBS Building Science Series 138, Nat. Bureau of Standards, Gaithersburg, MD., 152p.

4.De Alba, P., Baldwin, K., Janoo, V., Roe, G., and Celikkol, B. (1984), Elastic - Wave Velocities and Liquefaction Potential, Elastic - Wave Velocities and Liquefaction Potential , Geotech. Testeng J., ASTM, Vol. 7, No. 2, pp. 77 - 87.

5.Hynes, M. E. (1988), "Pore Pressure Generation Characteristics of Gravel Under Undrainded Cyclic Loading", Ph.D. Dissertation, Univ. of Calif., Berkeley.

6.Tokimatsu, K., and Uchida, A. (1990), "Correlation Between Liquefaction Resistance and Shear Wave Velocity , Soils and Found.", Japanese Society of Soil Mechanics and Found Engrg., Vol. 30, No. 2, pp.33 - 42.

7.Tokimatsu, K., Kuwayama, S., and Tamura, S.(1991a), "Liquefaction Potential Evaluation Basedon Rayleigh Wave Investigation and Its Comparison with Field Behaviour", Proc. Second Int. Conf., on Recent Advances in Geotech. Earthquake Engrg. And Soil Dyn., S. Prakash, Ed., 11 - 15 Mar, St. Louis, Mo, Univ. of Missouri at Rolla, Vol. I, pp.357 - 364.

۶- پیوست

۱- اندازه‌گیری سرعت موج برشی در آزمایشگاه

۲- تعیین پتانسیل روانگرایی

۳- محاسبه نسبت تنش برشی چرخه‌ای

۴- اندازه‌گیری سرعت موج برشی در صحرا

۵- تعیین پتانسیل روانگرایی

۶- تعیین نسبت تنش برشی چرخه‌ای

17.Kayen, R. E., Miitchell, J. K., Seed, R. B., Lodge, A., Nishio S., and Coutinho, R. (1992),"Evaluation of SPT., CPT., and Shear Wave - Based Methods for Liquefaction Potential Assessment Using Lomaprieta Data", Proc. Fourth Japan. U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countemeasures for Soil Liquefaction, Tech - nical Report NCEER - 92 - 0019, M. Hamada and T.D. O'Rourke, Eds., Held 27 - 29 May, Honolulu, Hawaii, Nat Ctr. For Earthquake Engrg. Res. Res. Buffalo. NY, Vol. 1, pp.177 - 204.

18.Andrus, R. D., and Stokoe, K. H. KK (1997),"Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity", NCEER Work - shop on Evaluation of Liquefaction Resistance If Soils, Technical Report NCEER - 97 - 0022. T.L. Youd and I.M. Idriss, Eds., 4 - 5 Jan.1996, Nat. Ctr. For Earthquake Engrg. Res., Buffalo, NY, pp. 89 - 128.

19.Sykora, D.W. (1987b),"Creation of a Data Base of Seismic Shear Wave Velocities for Correlation Analysis", Geotech - nical Laboratory Miscellaneous Paper GL - 87 - 26, U.S. Army Engineer Waterways Expeiment Station, Vicksburg, MS.

8.Rashidian, M. (1995),"Undrained Shearing Behavior of Gravelly Sands and its Relation with Shear Wave Velocity", Thesis, Geoteh. Engrg. Lab, Dept. of Civil Engrg. Yniv. of Tokyo, Japan.

9.Bierschwale, J. G., and Stock, K. H., II (1984), Analytical Evaluation of Liquefaction Potential of Sands Subjected to the 1981 Westmorland Earthquake , Geotch. Engrg. Report GR - 84 - 15, Th Univ. of Texas at Austin.

10.Stokoe, K. H., II, Roesset, J. M., Bierschwale, J. G., and Abuad, M. (1988 c),"Liquefaction Potential of Sands from Shear Wave Velocity", Proc. Ninth World Conf. on Earth - quake Engrg., Tokyo, Japan, Vol. III, pp. 213 - 218.

11.Andrus, R.D. (1994),"In Situ Characterzation of Gravelly Soils That Liquefied in the 1983 Borah Peak Earthquake" Ph.D. Disseration, The Univ. of Texas at Austin., p. 533.

12.Seed, H.B., Idriss, I.M, and Arango, I. (1983),"Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", J. of Geotenh. Engrg., ASCE, Vol.109 - No. 3, pp.458 - 482.

13.Lodge, A. L. (1994),"Shear Wave Velocity Measurements for Subsurface Characterization", Ph. D. Dissertation, Univ. of Casif. At Berkeley.

14.Kayabali, K. (1996),"Soil Liquefaction Evaluation Using Shear Wave Velocity", Engrg. Geology, Elsevier Publisher New York < NY., Vol. 44, No. 4, pp.121 - 127.

15.Rollins, K.M., Diehl, N. B., and Weaver, T. J. (1998 b),"Impli - cations of V_s - BPT $(N_1)_{60}$ Correlations for Liquefaction Assessment of Gravels", Geotech. Earthquake Engineering. And Soil Dyn. III, Geotech. Special Pub. No. 75, P. Dakoulas, M. Yegian, and B. Holtz, Eds., ASCE, Vol. 1, pp. 506 - 517.

16.Robertson, P. K., Woeller, D. J., and Finn, W. D.L. (1992), "Seismic Cone Penetration Test for Evaluating Liquefaction Potential Under Cyclic Loading", Canadian Geotech. J., Vol. 29, pp. 686 - 695.