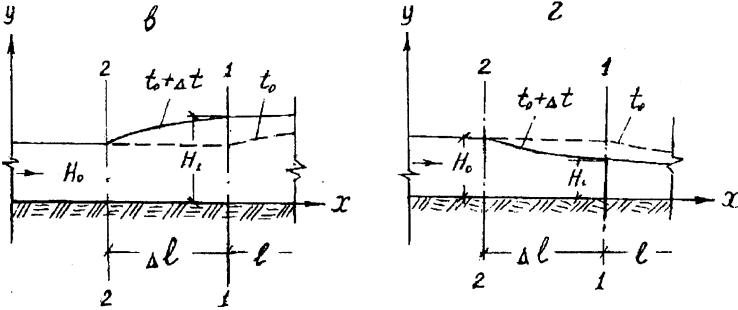


II



Расчетная схема движения волн попуска.

- а — прямая положительная волна
- б — прямая отрицательная волна
- в — обратная положительная волна
- г — обратная отрицательная волна

## Прогнозирование сдвиговой прочности связных грунтов

Турчек П.  
(СТУ)

### 1. Введение

Воздействие воды на природную грунтовую среду способствует изменению ее механических свойств. При решении задач устойчивости изменения ее механических свойств. При решении задач устойчивости на передний план выступает вопрос достоверного определения сдвиговой прочности. Воздействие обволакивающей зерна грунта воды, как и находящейся в его порах, изменяется в зависимости от крупности частиц. Тонкодисперсные грунты в определенном диапазоне заимствуют свойство пластичности. Их изучение, продолжающееся несколько десятилетий, до сих пор не завершено успокоительно. Главной причиной такого состояния является многообразие химических реакций, протекающих непрерывно в процессе выветривания земной коры, к которым присовокупляется антропогенный фактор в виде механических влияний.

Оказалось, что между физическими и механическими свойствами глинистых грунтов существуют соотношения, которые целесообразно выяснять методом корреляционного анализа. Последний базируется на статистической обработке лабораторных испытаний, подкрепляемых практическим опытом.

## 2. Сведения из литературы

В ненарушенных грунтах на прочность особенно влияет природное давление от собственного веса с учетом истории загрузки, различные протекающие во времени процессы генезиса и выветривания. В итоге конкретная структура грунта существенно влияет на механические свойства. Роль текстуры проявляется в виде анизотропии прочностных характеристик, в снижении прочности по поверхностям сдвига и, наоборот, в ее повышении в областях с примесями песчаных зерен. Из вышеупомянутых воздействий большинством авторов выделяется влажность как доминирующий фактор, влияющий на сдвиговую прочность.

Влажность однако сама по себе не является характеристикой физического состояния грунта. Удобнее использовать пределы Аттерберга (границы текучести  $W_L$  и пластичности  $W_p$ ), которые чувствительно отражают роль поверхностной активности, но не подвержены влиянию текстуры грунта.

Из возможных корреляций однако надо исключить грунты с существенным влиянием диагенеза, интенсивность которого (так наз. чувствительность) можно установить из соотношений прочности ненарушенных и нарушенных образцов одинакового состояния (влажность и удельный вес). Серрано и Отео (1978) приводят простой график по Скемптону (рис.1), из которого по значению  $I_p$  и процентному содержанию глинистых частиц можно быстро определить активность глинистого грунта. Другую возможность представляет использование известного давления консолидации, естественной и граничных влажностей согласно зависимости Хьюстона и Митчелла. Корреляционные зависимости у грунтов с высокой чувствительностью (2-4) являются малозначащими и чувствительность нужно вводить в качестве дополнительной корреляционной переменной.

Описанные свойства однако не могут отразить влияние загрузки образца. Корреляционные зависимости можно применять лишь там, где соотношение механических параметров линейны или близки к этому, как например, у тотальных прочностных свойств. Эти соотношения типичны для нормально консолидированных грунтов. Отсюда вытекает,

что теснота корреляционных соотношений повышается в областях с одинаковой геологической историей. Их интерпретацию для других регионов нужно тщательно взвесить.

Доказательством приведенного утверждения являются результаты в обводненных связных грунтах. Оказалось, что для нормально консолидированных глин естественного сложения величины  $c_u$  находятся в тесной корреляционной зависимости от значений эффективных давлений консолидации  $\delta_{ef}$  и от числа пластичности  $I_p$ . Известна лишь корреляция Скемптона, применимая для мало чувствительных глин с разбросом  $\pm 4$ , в виде

$$c_u / \delta_{ef} = 0,11 + 0,0037 I_p. \quad (1)$$

Для юрских глин с чувствительностью приблизительно 10 Хансбо установил корреляционную зависимость

$$c_u \delta_{ef} = 0,099 + 0,00511 I_p. \quad (2)$$

Расхождения между зависимостями (1) и (2) невелики, но существенно повышаются при  $I_p \geq 80$ . Ранее указанной проблематикой занимался Вуд (1985), который установил корреляцию графически для групп грунтов с различным периодом консолидации.

В условиях Словакии на основе большого множества испытаний Гулман (1986) установил множественную и многопараметрическую корреляционные зависимости. Его цель заключалась в оценке всех характеристик, влияющих на прочность связных грунтов. Для четвертичных и неогеновых тонкодисперсных грунтов оказались пригодными многопараметрические зависимости в виде регрессивных функций вида

$$c_{ef} = -11,1 + 145,2 I_p + 32,1 I_c - 4,6 S_r, \quad (3)$$

$$\delta_{ef} = 25,7 - 5,0 W_L - 6,5 I_p + 11,8 I_c - 8,5 S_r. \quad (4)$$

Функции (3) и (4) действительны для физических характеристик в интервалах

$$28\% \leq W_L \leq 60\%$$

$$5 \leq I_p \leq 40$$

$$0,25 \leq I_c \leq 1,20$$

$$0,7 \leq S_r \leq 0,9$$

Так же разработаны регрессивные функции параметров тотальной прочности сдвигу.

Соппротивление сдвигу нормально консолидированных глин можно чаще всего определять по эффективному углу внутреннего трения,

поскольку эффективная связность бывает очень часто пренебрежительно низкой. Скемптон (1964) разработал интересную зависимость для остаточного угла внутреннего трения от содержания глинистой фракции (рис.2). Чувствительность глин, как и другие факторы, находится в интервале, ограниченном верхним и нижним пределами пластичности по данным лабораторных опытов. Достоинство графика в том, что с его помощью можно ориентировочно определять  $\Phi_{ef,r}$  для широкой гаммы грунтов от песков до бентонитов.

Во многих случаях была выявлена корреляция угла внутреннего трения и числа пластичности. На рис.3 приведены данные многих авторов. Хорошее соответствие для ненарушенных образцов дает корреляционная зависимость пикового угла внутреннего трения  $\Phi_{ef,p}$  от  $I_p$ . Область 1 включает результаты, полученные Бьеррумом и Симонсом (1960), Кеннеом, Терцаги и Пеком (1967) и обобщение Феды (1972). Кривая 2 представляет результаты остаточного эффективного угла внутреннего трения  $\Phi_{ef,r}$  для спрессованных образцов согласно Бьерруму и Симонсу (1960). Предложенная зависимость настолько убедительна, что даже для ограниченного объема инженерно-геологических данных позволяет достоверно прогнозировать  $\Phi_{ef}$ . Лимитирующим фактором однако является то, что она не учитывает консистенцию грунта.

### 3. Собственные результаты

В лабораторных условиях были выполнены сдвиговые испытания на срезном приборе суглинка ( $W_L = 37,0\%$ ,  $W_p = 27,2\%$ ), в том числе пылеватого ( $W_L = 58,8\%$ ,  $W_p = 43,7\%$ ). Они были обработаны статистически в целях выявления изменения регрессивной функции и веса данной простой парной корреляции. Из полученных результатов была установлена умеренная и более существенная степень зависимости

между влажностью или  $I_c$  и параметрами прочности в условиях консолидированных дренированных (CD) и неконсолидированных не дренированных (VV) испытаний. Более наглядные результаты были достигнуты у суглинка. Увеличение влажности на 10% способствовало в среднем падению связности на 4 кПа и угла внутреннего трения на  $1,5^\circ$ . На рис.4 представлены эффективные пиковые ( $c_{ef,p}$ ,  $\Phi_{ef,p}$ ) и эффективные остаточные ( $c_{ef,r}$ ,  $\Phi_{ef,r}$ ), тотальные пиковые ( $c_{u,p}$ ,  $\Phi_{u,p}$ )

и тотальные остаточные ( $c_{u,r}$ ,  $\Phi_{u,r}$ ) параметры прочности в зависимости от показателя консистенции  $I_c$  для суглинков. Большое отличие между тотальной и эффективной связностью естественно и следовало ожидать. Также очевидно и падение остаточных параметров прочности по сравнению с пиковыми. Подтвердились сведения, что связность чувствительнее к изменению консистенции в сравнении с углом внутреннего трения.

Для подробного изучения влияния влажности на параметры сдвиговой прочности были обработаны архивные материалы для 8 групп из разных регионов Словакии. Они были представлены суглинками, супесями и глинами четвертичными и неогеновыми. У всех групп предполагалось, что характеристики  $W$ ,  $W_L$ ,  $I_c$ ,  $\Phi_{ef}$ ,  $\Phi_u$ ,  $c_{ef}$  :  $c_u$  имеют нормальное распределение или близкое к нему. Эти основные характеристики были определены по тесту Груббса для экстремальных отклонений. После исключения экстремальных значений осталось 799 образцов грунтов, которые были протестированы по группам.

Параметры прочности и физические характеристики были обработаны при помощи простой линейной корреляции и регрессии. В результате выяснилось, что увеличение консистенции на  $\delta I_c = 0,1$  в интервале  $0,24 \leq I_c \leq 1,65$  способствовало увеличению тотальной связности от 7 до 19,7 кПа. Одновременно рост влажности на 5% в интервале  $16,5\% \leq W \leq 35,8\%$  способствовал снижению эффективного угла внутреннего трения на  $2,3^\circ$ . Подтвердилась выразительная зависимость параметров прочности от влажности и показателя консистенции.

Детально были изучены посредством простой и многократной линейной корреляциями и регрессией четвертичные и неогеновые седименты откосов в Восточной Словакии. Находилась зависимость между прочностью и физическими характеристиками (начальная влажность, показатель консистенции, коэффициент пористости), а также глубиной отбора образцов. После исключения экстремальных значений было отобрано 315 образцов, которые разделились на 12 классов по числу пластичности ( $12 \leq I_p \leq 36$ ). Выразительным результатом корреляционного и регрессионного анализа явилась корреляционная зависимость параметров прочности и консистенции, приведенная на рис.5. Корреляция включает результаты испытаний четвертичных и

неогеновых грунтов, представленных суглинками и глинами. Она практически приемлема для корректного прогноза параметров тотальной прочности в рамках региона Восточной Словакии.

#### 4. Заключение

Корреляционные зависимости как результат многократной линейной корреляции и регрессии являются в значительной мере экспериментальными вопреки тому, что установлены на базе фактических характеристик. Нужно их сравнить с результатами других комплексных испытаний в рамках региона. Правильность выбора принятой модели может быть подтверждена сравнением с корреляциями, полученными на базе других стохастических моделей. При отработке вопросов встретились проблемы, решение которых требует проведения дополнительных экспериментов. Используемые методы обработки оказались удобными и при ограниченном интервале применимости для определенных групп грунтов, имеющих значение для практического употребления. Их достоинства проявляются при выявлении механических параметров для грунтов в областях с недостаточным объемом инженерных изысканий.



Рис.1. Активность суглинков в зависимости от содержания глинистых фракций и числа пластичности по Скемptonу.

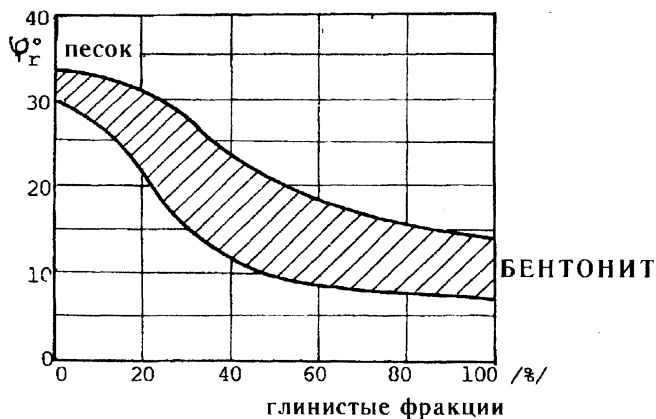


Рис.2. Зависимость остаточного угла внутреннего трения от содержания глинистой фракции по Скемptonу.

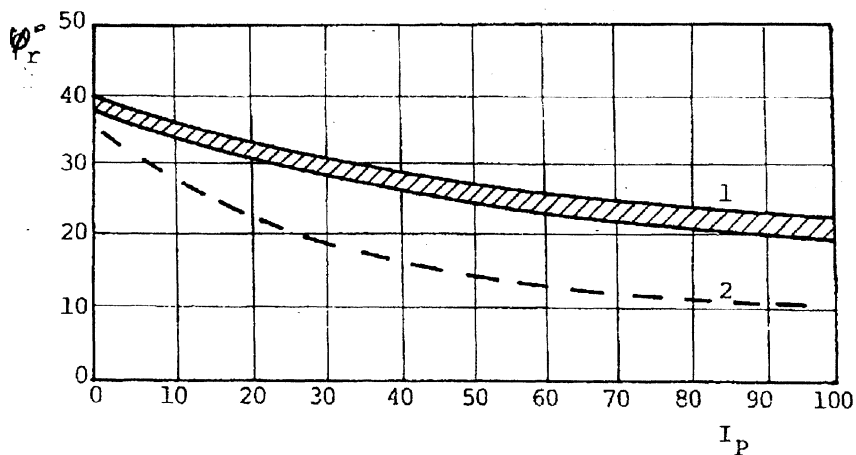


Рис.3. Корреляционная зависимость эффективного угла внутреннего трения от числа пластичности; 1 —  $\varphi_{ef,p}$ , 2 —  $\varphi_{ef,r}$ .

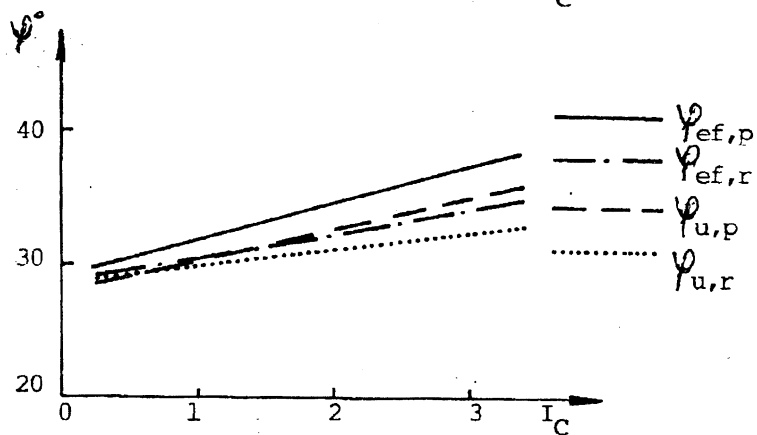
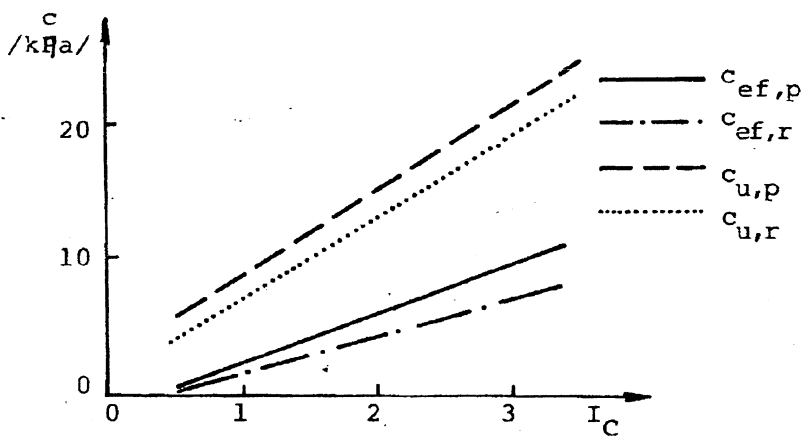


Рис.4. Простая парная корреляция между прочностью и показателем консистенции суглинка.



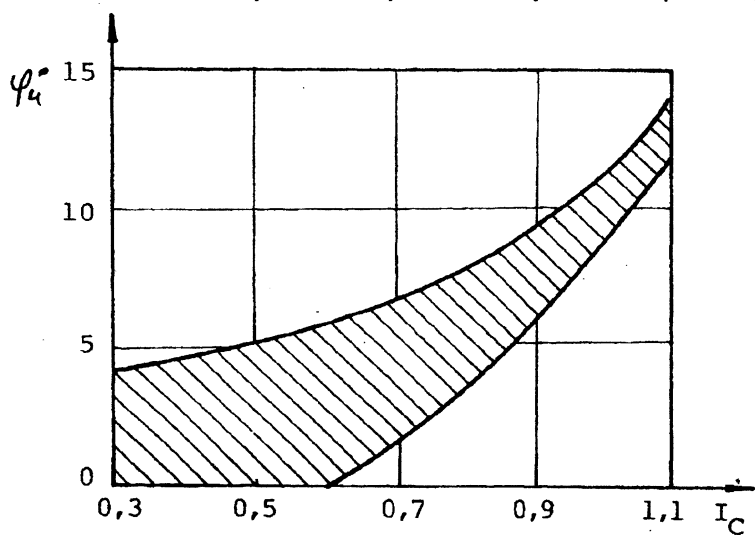
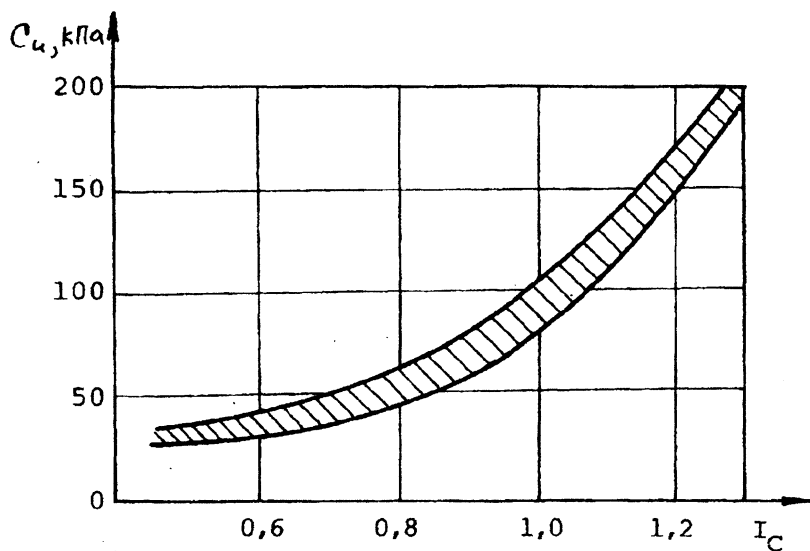


Рис.5. Корреляция между параметрами прочности и показателем консистенции тонкодисперсных грунтов для региона восточной Словакии.