

СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 624.27

М.Ч. АПСЕМЕТОВ, У.Т. ШЕКЕРБЕКОВ

E-mail: ksucta@elcat.kg

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ УСТОЯ МОСТА И КОНУСА НАСЫПИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Көпүрөнүн четки таянычынын жана конус болонтайынын моделине сейсмикалык аракет эткендегисин эксперимент түрүндө изилдөө каралган.

Представлены результаты экспериментальных исследований модели устоя моста и конуса насыпи при сейсмическом воздействии

In this article are presented the experimental research results of model for the bridge abutment and embankment cone at seismic influence.

В Проблемной НИЛСС КГУСТА были проведены экспериментальные исследования в рамках изучения сейсмостойкости устоя диванного, козлового типов и армированного грунта насыпки.

Исследования проводились на сейсмоплатформе Проблемной НИЛСС. Была поставлена задача определить, насколько эффективно применение опоры диванного, козлового типов в комплексе с армированной насыпью на подходах к мосту.

В программу исследований вошли четыре варианта экспериментальных исследований:

1. Устой диванного типа, на который передается нагрузка от массы пролетного строения, и неармированный конус насыпки.
2. Устой диванного типа, с аналогично действующей на него нагрузкой, и конус насыпки, армированный арматурными сетками из стеклопластика.
3. Аналогичный устой и конус насыпки, армированный арматурными стержнями с пластмассовыми упорами.
4. Устой козлового типа с аналогичной нагрузкой и неармированным конусом насыпки.

В качестве моделирующего грунта принимался однородный дресвяный грунт, с влажностью $W = 0,4\%$ (маловлажный). Множитель геометрического подобия был принят – 1:50.

Все четыре варианта экспериментальных моделей подвергались трем различным условиям работы (табл. 1).

Ускорения и смещения сейсмоплатформы замерялись соответственно приборами ОСП и ВВП.

Ускорения грунта насыпи и устоя-СМВ-30.

Были выбраны три типа воздействия, которые условно принимались за 7, 8, 9 баллов в зависимости от ускорения платформы.

Устой на сейсмоплатформе размещался в специальном ящике.

Серии экспериментов повторялись для сухого грунта насыпи, затопленного водой на 0,5 высоты насыпи при сейсмическом воздействии вдоль оси моста и поперек.

Замерялись перемещения и ускорения сейсмоплатформы, насыпи и подферменника опоры.

В качестве грунта, имитирующего насыпь на подходах к мосту, принята дресва.

Таблица 1

Четыре варианта экспериментальных моделей

№ п/п	Особенности эксперимента
1.	Сухой грунт насыпи, неармированный. Диванный блок.
2.	Сухой грунт насыпи, армированный сетками. Диванный блок.
3.	Сухой грунт насыпи, армированный стержнями. Диванный блок.
4.	Сухой грунт насыпи. Козловой устой.
5.	Аналогично эксперименту № 1. Сейсмическое воздействие поперек оси моста.
6.	Аналогично эксперименту № 2. Воздействие поперек оси моста.
7.	Аналогично эксперименту № 3. Воздействие поперек оси моста.
8.	Аналогично эксперименту № 4. Воздействие поперек оси моста.
9.	Аналогично эксперименту № 1 с учетом обводнения.
10.	Аналогично эксперименту № 2 с учетом обводнения.
11.	Аналогично эксперименту № 3 с учетом обводнения.
12.	Аналогично эксперименту № 4 с учетом обводнения.

Как известно, к нескальным грунтам относятся грунты, состоящие из легко разделяющихся в воде несцементированных или слабо сцементированных обломков горных пород и минеральных частиц различной крупности и образующие пористые толщи.

Все нескальные грунты состоят из твердых минеральных частиц (скелета), поровой воды и порового газа (обычно воздух и водяной пар).

Строительные свойства грунтов зависят от их минерального состава, размера, формы, количества частиц различной крупности, а также от особенностей расположения их в скелете. Относительное содержание в скелете частиц различных размеров называют гранулометрическим, или механическим составом грунта /1/.

Физические свойства грунтов определены в лаборатории «Механика грунтов, основания и фундаменты» кафедры «Железные дороги».

Для определения гранулометрического состава грунта использовали ситовый метод. Грунт просеивали через набор сит с размерами отверстий 10, 7, 3, 2, 1 мм.

Процентное содержание каждой фракции определяли

$$A = \frac{m_{\phi}}{m_H} \cdot 100\% .$$

(1)

Полученные результаты занесены в табл. 2.

Для определения наименования грунта по гранулометрическому составу подсчитаны полные остатки фракций в процентах. Полученные результаты полных остатков сравнили с данными табл.2.

По первому удовлетворяющему показателю полных остатков в порядке расположения фракций, т.е. сверху вниз, определено, что грунт дресвяный, так как полный остаток на сите крупнее 2 мм более 99 %.

Для определения степени неоднородности грунта построена суммарная кривая (рис.1).

По суммарной кривой определили степень и коэффициент неоднородности и действующий или эффективный диаметр.

Коэффициент неоднородности равен

$$K = d_{60} / d_{10} , \tag{2}$$

где d_{60} – диаметр частиц, мельче которого в данном грунте содержится 60 % частиц по массе (полный проход через сито составляет 60 %), мм; d_{10} – диаметр частиц, мельче

которого в данном грунте содержится 10 % частиц по массе (полный проход через сито составляет 10 %), мм.

Таблица 2

Гранулометрический состав

Размер фракций	Частые остатки		Полные остатки, %	Полные проходы, %
	г	%		
>10	200	40	40	60
10-7	150	30	70	30
7-3	140	28	98	2
3-2	8,5	1,7	99,7	0,3
2-1	1,4	0,28	99,98	0,02
<1	0,1	0,02	100	0
Всего	500	100	-	-

На суммарной кривой: $d_{10}=4\text{мм}$; $d_{60}=10\text{мм}$;

$$K_{60/10} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{10}{4} = 2,5.$$

Так как $K_{60/10} < 3$, дресвяный грунт является однородным [2], действующий или эффективный диаметр на суммарной кривой принимает размер частиц, соответствующих ординате 10% (d_{10}). Из рис.1 $d_{10} = 4\text{мм}$.

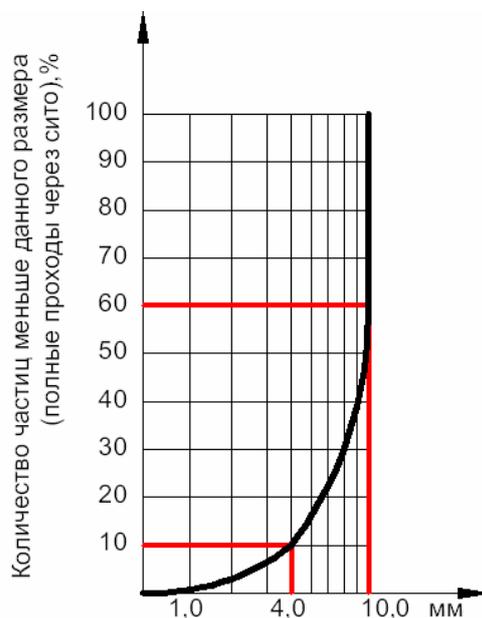


Рис.1. График суммарной кривой неоднородности грунта

Влажность грунта определялась весовым методом, в долях от единицы или в процентах, по формуле

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m} \cdot 100 \%,$$

где m – масса пустого стакана (бокса), г; m_1 – масса стакана с влажным грунтом, г; m_0 – масса стакана с высушенным грунтом, г.

Производилось параллельно два замера. Результаты замеров приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты замеров

Показатели	Данные	
	1-й замер	2-й замер
m , г	132,5	123,5
m_1 , г	332,5	332,5
m_0 , г	331,5	332
$w = (m_1 - m_0)/(m_0 - m) \cdot 100\%$,	0,5	0,3

Так как результаты двух параллельных определений не больше 10 %, то среднее арифметическое равно 0,4 %.

Угол естественного откоса грунта определяется в воздушно-сухом состоянии и под водой. Каждый опыт повторялся три раза, и бралось среднее арифметическое значение.

Результаты опытов приведены в табл.4.

Таблица 4

Результаты опытов

Состояние грунта, № замеров	α^0 (при сухом грунте)	α^0 (под водой)
1	42,0	35,0
2	39,0	34,0
3	39,0	34,0

Среднее арифметическое	40,0	34,0
------------------------	------	------

У сыпучих грунтов сцепление практически отсутствует, угол естественного откоса (α) мало отличается от угла внутреннего трения (φ). По полученным результатам можно вычислить коэффициент внутреннего трения:

$$f = \operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\alpha .$$

$$1. \alpha \text{ (сухой грунт)} = 40^{\circ} \Leftrightarrow f = \operatorname{tg} 40^{\circ} = 0,08391 .$$

$$2. \alpha \text{ (под водой)} = 34^{\circ} \Leftrightarrow f = \operatorname{tg} 34^{\circ} = 0,6745 .$$

Зная f , можно найти сопротивление грунта по формуле

$$\tau = P \cdot \operatorname{tg}\alpha = P \cdot f \text{ (МПа)},$$

(3)

где P – нормальное давление, МПа.

Как известно, движение частиц грунта при землетрясениях происходит по весьма сложной пространственной траектории и не подчиняется какой-либо математической закономерности. Однако практика проектирования инженерных сооружений, расположенных в сейсмических районах, показывает, что достаточно учитывать сейсмические движения одной из главных плоскостей сооружения и при этом лишь его горизонтальную компоненту как наиболее опасную для сооружения.

Поэтому испытание конструкций или их моделей на сейсмических платформах, воспроизводящих горизонтальные колебания основания сооружений в этом направлении по определенному закону, в достаточной степени удовлетворяет требованиям экспериментального исследования вопросов сейсмостойкости /3/. Из этих соображений сейсмоплатформа ПНИЛСС КГУСТА выполнена однокомпонентной со следующими характеристиками, составленными по данным тарировки:

- источник питания переменного тока – 380 В;
- потребляемая мощность – 50 кВт;
- частота колебаний (с защитным устройством) – 1...10 Гц;
- амплитуда колебаний - 0,1...2,1 см;
- грузоподъемность – 15 т.

На рис.2 представлен общий вид установки устоя диванного типа, а на рис.3 – армированной грунтом.

Проведены все этапы эксперимента. На табл. 5 представлены результаты экспериментов, обработанные по записям на фотобумаге. Представлены только конечные

результаты, когда конус насыпи начинает разрушаться, частично разрушается и полностью разрушается.

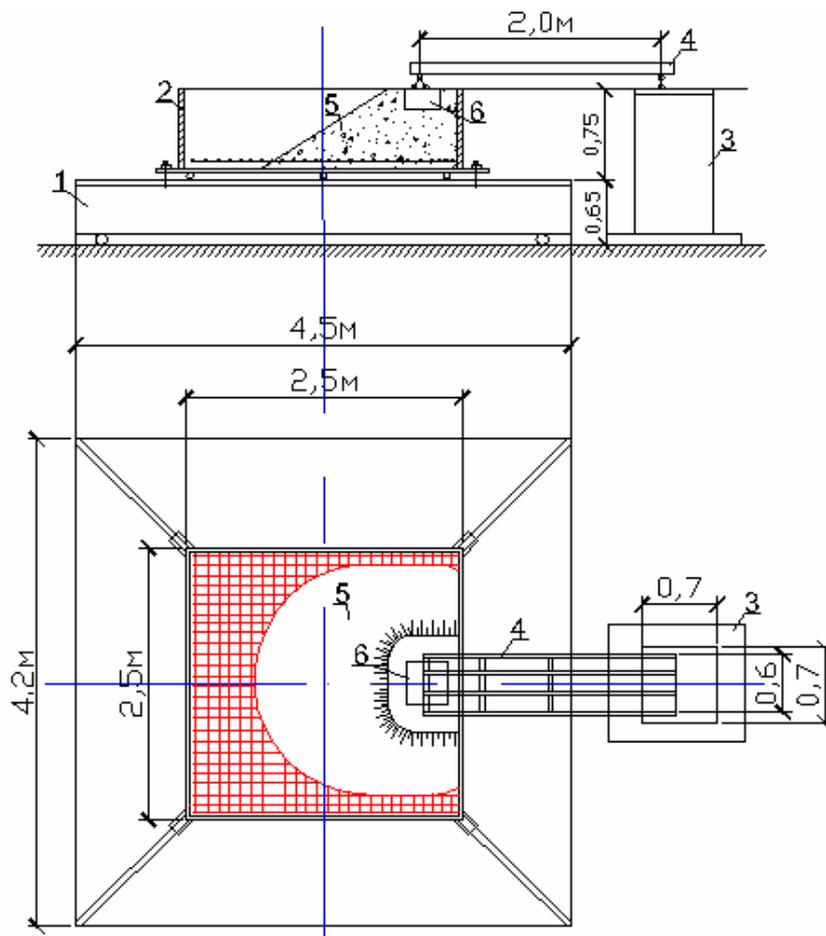


Рис.2. Общий вид экспериментальной установки устоя диванного типа:

1 – сейсмоплатформа; 2 – металлический ящик с шероховатым дном; 3 – промежуточная опора (неподвижная); 4 – пролетное строение моста; 5 – конус насыпи; 6 – устой моста диванного типа

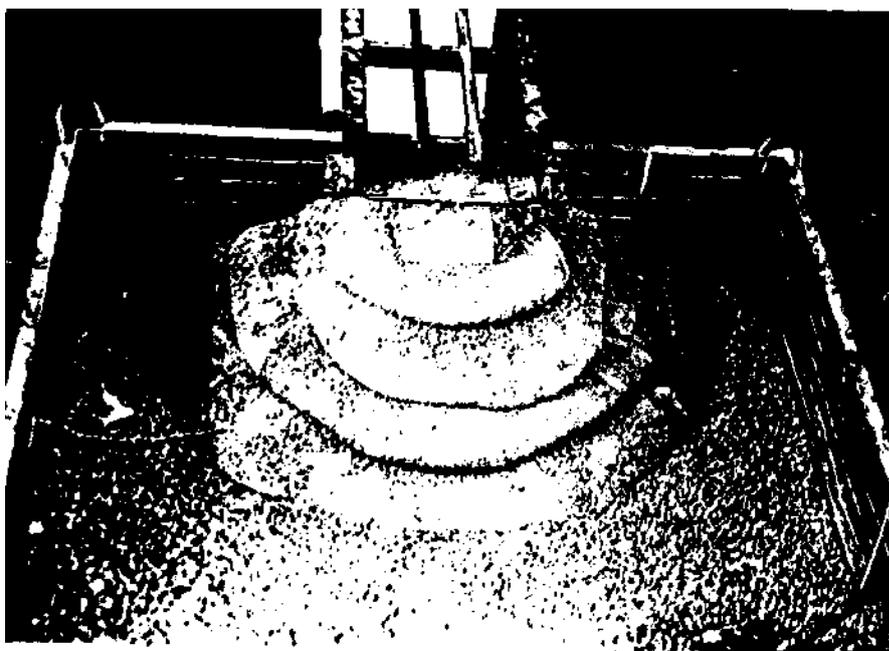


Рис. 3. Устой диванного типа с армированным грунтом

Таблица 5

Результаты экспериментов, обработанные по записям на фотобумаге

№ экспериментов по табл. 1	Ускорение при начале разрушения откоса, см/с ²			Баллы	Осадки, мм		Перемещение платформы	Баллы при частичном разрушении	Баллы при полном разрушении
	платформы	насыпи	устоя		насыпи	устоя			
1	283	435	545	7	50	30	6,1	8	9
2	451	661	614	8	25	25	8,0	9	>9
3	452	472	708	8	24	26	8,2	9	>9
4	285	446	454	7	25	25	8,1	8	9
5	281	421	538	7	48	29	6,0	8	9
6	449	612	609	8	23	21	8,4	9	>9
7	454	468	698	8	25	22	8,5	9	>9
8	279	438	541	7	26	23	8,2	8	9
9	280	442	547	7	27	26	7,9	8	9
10	284	441	538	7	28	25	7,7	8	9
11	281	440	536	7	28	24	7,6	8	9
12	279	438	537	7	25	26	7,8	8	9

Из таблицы видно, что в основном насыпь начинает разрушаться при 7-8-балльном сейсмическом воздействии. При 9-балльном воздействии конус насыпи полностью разрушается при неармированном грунте и частично разрушается при армированном грунте.

1. Экспериментальные исследования работы конуса высокой насыпи при землетрясении показали, что в несвязных грунтах при сильных землетрясениях происходит значительная осадка насыпи (10-15 % от начальной высоты), а откос насыпи образуется 1:2.

2. Армирование конуса насыпи с применением устоя диванного типа обеспечивает снижение осадки насыпи при землетрясении. Причем, чем меньше толщина прослойки грунта между h арматурными сетками, тем меньше осадка насыпи. При толщине прослойки 0,2 части от высоты насыпи осадка уменьшается вдвое.

3. Подтопление насыпи сказывается при работе насыпи при землетрясении. Наблюдается интенсивное вымывание глинистых и мелких песчаных частиц.

4. Армирование конуса насыпи арматурными стержнями с упорами на концах обеспечивает такой эффект, что и применение арматурных сеток. При этом арматурные стержни не препятствуют консолидации грунта со временем в единый массив.

5. Применение устоя козлового типа на естественном основании с обычной нормированной высотой насыпью обеспечивает наиболее благоприятные условия работы берегового пролета моста при землетрясении. Значительная осадка конуса насыпи усложняет при этом сопряжение моста с насыпью.

6. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность применения комплексного варианта, состоящего из козлового устоя на естественном основании и конуса насыпи, армированного арматурными стержнями с упорами на концах.

7. Армирование насыпи к подходу моста и конуса насыпи повышает сейсмичность мостового перехода на 1 балл.

Список литературы

1. Цытович Н.А. Механика грунтов.- М.: Высшая школа, 1982.
2. СНиП 2-02.01-83. Основание зданий и сооружений. – М., 1983.
3. Теория подобия твердых деформируемых тел. – Ереван: АН АрмССР, 1965. – С.218.